



TESIS - TE142599

KOORDINASI ADAPTIF RELE ARUS LEBIH BERBASIS ALGORITMA MULTIPLE SEQUENCE ALIGNMENT (MSA)

Denny Irawan
2214 201 003

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, M.T.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



TESIS - TE142599

ADAPTIVE OVERCURRENT RELAY COORDINATION BASED ON MULTIPLE SEQUENCE ALGORITHM (MSA)

Denny Irawan
2214 201 003

ADVISOR

Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, M.T.

MAGISTER PROGRAM
POWER SYSTEM ENGINEERING
ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Denny Irawan
NRP. 2214 201 003

Tanggal Ujian : 24 Juni 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui Oleh :

1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. (Pembimbing I)
NIP. 195809161986011001
2. Dr. Ir. Margo Pujiatara, M.T. (Pembimbing II)
NIP. 196603181990101001
3. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T. (Penguji)
NIP. 196404051990021001
4. Dr. Ronv Seto Wibowo, S.T., M.T. (Penguji)
NIP. 197411292000121001
5. Heri Suryatmojo, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji)
NIP. 198006032006041003



KOORDINASI ADAPTIF RELE ARUS LEBIH BERBASIS ALGORITMA MULTIPLE SEQUENCE ALIGNMENT (MSA)

Nama Mahasiswa : Denny Irawan

NRP : 2214 201 003

Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
2. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

ABSTRAK

Koordinasi adaptif rele arus lebih sebagai pengaman utama pada sistem distribusi radial mutlak harus dilakukan ketika ada DG yang masuk ke sistem, menyebabkan besar dan arah arus pada saat normal dan pada saat terjadi gangguan menjadi berubah. Bioinformatika digunakan untuk menyelaraskan / *alignment* urutan data input dan urutan *database* sehingga didapatkan similaritas yang akan digunakan untuk menentukan *setting* rele yang sesuai. Hasilnya menunjukkan keakuratan kecocokan data input pada saat terjadi gangguan dengan data yang ada pada *database*, meskipun terdapat *junk* pada data input karena satu atau beberapa OCR tidak mengirimkan informasi data arus yang melaluinya.

Kata kunci : Rele arus lebih, Koordinasi adaptif, Bioinformatika.

ADAPTIVE OVERCURRENT RELAY COORDINATION BASED ON MULTIPLE SEQUENCE ALIGNMENT (MSA)

By : Denny Irawan
Student Identity Number : 2214 201 003
Advisor : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
2. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

ABSTRACT

The overcurrent relays (OCRs) as main protective devices have been most commonly used to protect radial distribution system and must set correctly when load, generation-level or system-topology changes. For digital OCRs based on microprocessor, adaptive setting coordination stored at the memory. This paper demonstrates the technique of bioinformatics to compare between data input sequence from all of the OCRs currents and connected generation with database sequences at the memory to find similarity which is used to determine the setting of available OCRs. The result shows the accuracy of similarity scoring even though there is junk of data input when one or some OCRs' not send a fault current data information passing.

Keywords : Overcurrent relay (OCR), Adaptive coordination, Bioinformatics.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN TESIS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Kontribusi Penelitian	3
BAB 2 HUBUNG SINGKAT, RELE ARUS LEBIH DAN <i>MULTIPLE SEQUENCE ALIGNMENT</i>	
2.1. Gangguan Hubung Singkat	5
2.1.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Ketanah	6
2.1.2 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Ketanah Dengan Impedansi	7
2.1.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah	8
2.1.4 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah Dengan Impedansi	9
2.1.5 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa	11

2.1.6	Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Dengan Impedansi.....	12
2.1.7	Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah.....	13
2.1.8	Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah Dengan Impedansi	14
2.2.	Rele Proteksi	15
2.2.1	Rele Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>)	15
2.2.2	Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	15
2.2.3	Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	16
2.2.4	Rele Arus Lebih Waktu Instan	17
2.3	<i>Multiple Sequence Alignment</i> (MSA)	18

BAB 3 PEMODELAN SISTEM DISTRIBUSI UNTUK KOORDINASI RELE ARUS LEBIH BERBASIS ALGORITMA

3.1.	Sistem Distribusi 5 bus 20 kV	25
3.2.	Perancangan Perubahan Topologi Jaringan.....	28
3.2.1	Jaringan Terhubung Grid dan DG 1, 2 Berstatus <i>Off</i>	28
3.2.2	Jaringan Tidak Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus <i>On</i> (<i>Islanding</i>)	29
3.2.3	Jaringan Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus <i>On</i>	29
3.2.4	Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 1 Berstatus <i>On</i> Sedangkan DG 2 <i>Off</i>	30
3.2.5	Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 2 Berstatus <i>On</i> Sedangkan DG 1 <i>Off</i>	31
3.3.	<i>Setting</i> Rele Arus Lebih.....	32
3.3.1	<i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	32
3.3.2	<i>Setting</i> Rele Arus Lebih Instan.....	33
3.3.3	Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu	34
3.4.	Perancangan Algoritma <i>Multiple Sequence Alignment</i>	35
3.5.	Aplikasi Algoritma <i>Multiple Sequence Alignment</i> Pada Sistem	37

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

4.1	Pengujian Algoritma <i>Multiple Sequence Alignment</i> (MSA) kasus 1	39
-----	---	----

4.2	Pengujian Algoritma <i>Multiple Sequence Alignment</i> (MSA) kasus 2....	45
-----	--	----

BAB 5 PENUTUP

5.1.	Kesimpulan	53
5.2.	Penelitian Berikutnya.....	53

DAFTAR PUSTAKA	55
-----------------------------	----

BIOGRAFI PENULIS	57
-------------------------------	----

INDEKS	59
---------------------	----

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 <i>Blackout</i> di Amerika Serikat dan Kanada	2
Gambar 1.2 Karakteristik beban (PLN)	2
Gambar 2.1 Hubung Singkat Tiga Fasa	6
Gambar 2.2 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Tiga Fasa Ketenah	6
Gambar 2.3 Hubung Singkat Tiga Fasa Ketenah Dengan Impedansi	7
Gambar 2.4 Hubung Singkat Dua Fasa Ketenah	8
Gambar 2.5 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Dua Fasa Ketenah	8
Gambar 2.6 Hubung Singkat Dua Fasa Ketenah Dengan Impedansi	9
Gambar 2.7 Hubung Singkat Antar Fasa	11
Gambar 2.8 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Antar Fasa	11
Gambar 2.9 Hubung Singkat Antar Fasa Dengan Impedansi	12
Gambar 2.10 Hubung Singkat Satu Fasa Ketenah.....	13
Gambar 2.11 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Satu Fasa Ketenah.....	13
Gambar 2.12 Hubung Singkat Satu Fasa Dengan Impedansi.....	14
Gambar 2.13 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	16
Gambar 2.14 Karakteristik <i>Standard Inverse</i> , <i>Very Inverse</i> dan <i>Extremely Inverse</i>	17
Gambar 2.15 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Instan.....	17
Gambar 2.16 Kombinasi IDMT dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan	18
Gambar 2.17 <i>Sequence Alignment</i> Pada Protein	19
Gambar 2.18 <i>Global Alignment</i>	19
Gambar 2.19 <i>Local Alignment</i>	19
Gambar 2.20 Analisis Dua Urutan Data	21
Gambar 3.1 <i>Single Line Diagram</i> Sistem.....	27
Gambar 3.2 Jaringan Terhubung Grid dan DG 1, 2 Berstatus <i>Off</i>	28
Gambar 3.3 Jaringan Tidak Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus <i>On</i> (<i>Islanding</i>)	29
Gambar 3.4 Jaringan Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus <i>On</i>	30
Gambar 3.5 Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 1 Berstatus <i>On</i> Sedangkan DG 2 <i>Off</i>	31
Gambar 3.6 Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 2 Berstatus <i>On</i> Sedangkan DG 1 <i>Off</i>	32
Gambar 3.7 Rele Arus Lebih Pengamanan Trafo	34
Gambar 3.8 Diagram Alir Algoritma Needleman_Wunch	35
Gambar 3.9 Diagram Alir Aplikasi Algoritma Needleman_Wunch	

	Pada Sistem	38
Gambar 4.1	Hubung Singkat di Bus 1 untuk Kasus 1.....	39
Gambar 4.2	<i>Test Performance</i> MSA untuk Kasus 1.....	42
Gambar 4.3	<i>Line Sequence</i> untuk Kasus 1	43
Gambar 4.4	<i>Pseudocolor</i> untuk Kasus 1	43
Gambar 4.5	Hasil Koordinasi Rele untuk Kasus 1	44
Gambar 4.6	Hubung Singkat di Bus 1 untuk Kasus 2.....	45
Gambar 4.7	<i>Test Performance</i> MSA untuk Kasus 2.....	49
Gambar 4.8	<i>Line Sequence</i> untuk Kasus 2	50
Gambar 4.9	<i>Pseudocolor</i> untuk Kasus 2	50
Gambar 4.10	Hasil Koordinasi Rele untuk Kasus 2	51

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>Software</i> untuk Pencarian <i>Local Alignment</i> , <i>Global Alignment</i> dan <i>Multi Alignment</i>	23
Tabel 2.2 Metode <i>Alignment</i> dan Aplikasinya	24
Tabel 3.1 Data <i>Grid</i>	25
Tabel 3.2 Data <i>Distributed Generator</i>	25
Tabel 3.3 Data Beban.....	25
Tabel 3.4 Data <i>Line</i>	26
Tabel 3.5 Data Pengaman Rele dan CT Saluran Utama	26
Tabel 3.6 Koefisien <i>Inverse Time Dial</i>	33
Tabel 4.1 <i>Alignment</i> Data Input terhadap <i>Database 1</i>	41
Tabel 4.2 Urutan Kerja Rele untuk Kasus 1.....	44
Tabel 4.3 <i>Alignment</i> Data Input terhadap <i>Database41</i>	48
Tabel 4.4 Urutan Kerja Rele untuk Kasus 2.....	51

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

<i>MSA</i>	=	<i>Multiple Sequence Alignment</i>
<i>IEEE</i>	=	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
<i>ETAP</i>	=	<i>Electrical Transient Analysis Program</i>
<i>Matlab</i>	=	<i>Matrix Laboratory</i>
<i>DG</i>	=	<i>Distributed Generator</i>
<i>MVA_{sc}</i>	=	<i>MVA Hubung Singkat</i>
I_{a0}	=	arus fasa urutan nol
I_{a1}	=	arus fasa urutan positif
I_{a2}	=	arus fasa urutan negatif
V_{a0}	=	tegangan fasa urutan nol
V_{a1}	=	tegangan fasa urutan positif
V_{a2}	=	tegangan fasa urutan negatif
Z_0	=	impedansi urutan nol
Z_1	=	impedansi fasa urutan positif
Z_2	=	impedansi fasa urutan negatif
V_f	=	tegangan pada titik gangguan
I_a	=	arus fasa a
I_b	=	arus fasa b
I_c	=	arus fasa c
V_a	=	tegangan fasa a
V_b	=	tegangan fasa b
V_c	=	tegangan fasa c
I_n	=	arus pada fasa netral
Z_g	=	impedansi netral
I_f	=	arus gangguan pada fasa netral
Z_f	=	impedansi gangguan pada fasa netral
a	=	operator a
<i>CT</i>	=	<i>Current Transformer</i>
<i>TCC</i>	=	<i>Time Current Characteristic</i>

<i>IEC</i>	=	<i>Independent Electoral Comission</i>
<i>BS</i>	=	<i>British Standard</i>
<i>IDMT</i>	=	<i>Inverse Definite Minimum Time</i>
<i>CB</i>	=	<i>Circuit Breaker</i>
<i>LV</i>	=	<i>Low Voltage</i>
<i>HV</i>	=	<i>High Voltage</i>
<i>DNA</i>	=	<i>Deoxyribonucleic Acid</i>
<i>RNA</i>	=	<i>Ribonucleic Acid</i>
<i>ATCG</i>	=	<i>Adenine Thymine Cytosine Guanine</i>
<i>PCR</i>	=	<i>Polymerase Chain Reaction</i>
<i>SP</i>	=	<i>Sum of Pairs</i>
<i>DCA</i>	=	<i>Divide and Conguer Alignment</i>
<i>d</i>	=	<i>Gap Penalty</i>
<i>S (mi)</i>	=	skor <i>Sum of Pairs</i> untuk setiap kolom
<i>td</i>	=	waktu operasi rele
<i>T</i>	=	<i>Time Dial</i>
<i>I_{set}</i>	=	<i>Arus pick up</i>
<i>k</i>	=	koefisien <i>inverse</i> 1
<i>α</i>	=	koefisien <i>inverse</i> 2
<i>β</i>	=	koefisien <i>inverse</i> 3

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan pelanggan listrik dalam suatu negara dipengaruhi beberapa faktor sebagai berikut : pertumbuhan penduduk, produk domestik regional bruto (PDRB) dan pertumbuhan industri. Selain menambah sumber tenaga listrik dengan pembangkit tersebar (*distributed generation*) yang merupakan gabungan beberapa pembangkit skala kecil yang terhubung dengan jaringan penyedia listrik utama dan ditempatkan secara tersebar diantaranya : *wind turbine*, *micro hidro* dan *pv voltage*, kontinuitas pelayanan tenaga listrik juga menjadi hal yang sangat penting dan perlu untuk diperhatikan, sehingga perlindungan terhadap saluran distribusi mempunyai peranan penting dalam perlindungan sistem tenaga listrik, hal ini disebabkan karena saluran distribusi merupakan elemen penting suatu jala-jala yang terhubung dengan beban.

Saluran distribusi rentan terhadap gangguan. Salah satu gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat, baik gangguan hubung singkat antar fasa maupun gangguan hubung singkat fasa dengan tanah. Gangguan hubung singkat pada saluran distribusi apabila bersifat permanen pada umumnya dapat mengakibatkan kerusakan mekanis pada peralatan-peralatan listrik yang terhubung dengan sistem yang sedang mengalami gangguan hubung singkat tersebut.

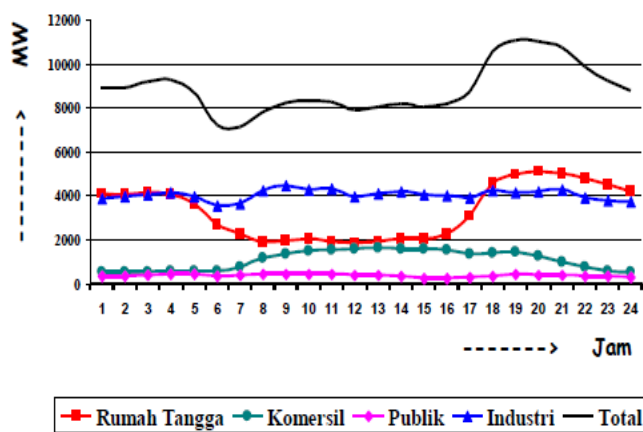
Gangguan hubung singkat ini perlu untuk segera dilokalisir, dengan bekerjanya rele-rele pengaman pada titik gangguan. Pada saluran transmisi, gangguan yang tidak cepat dilokalisir karena *setting* rele yang tidak tepat dapat menyebabkan frekuensi dan tegangan turun dari nilai nominal, dan jika tetap berlanjut maka generator tidak mampu menyuplai sistem (melewati batas kestabilan) sehingga sistem *collapse* karena generator lepas dari sistem dan terjadi *blackout*. Kejadian *blackout* yang pernah terjadi karena gangguan hubung singkat dan *setting* rele yang tidak optimal seperti di Amerika Serikat dan Kanada pada 14 Agustus 2003 (*“Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United*

States and Canada: Causes and Recommendations.” Washington DC: USGPO, April 2004. <https://reports.energy.gov/B-F-Web-Part1.pdf>).



Gambar 1.1 *Blackout* di Amerika Serikat dan Kanada (<https://reports.energy.gov/B-F-Web-Part1.pdf>)

Karakteristik beban yang dinamis juga harus diperhatikan dalam menentukan *setting* dan koordinasi rele arus lebih, sehingga bekerja secara tepat dan efisien jika terjadi gangguan. Seperti di Taiwan pada saat hari kerja tahun 2012 di musim panas, beban puncak sebesar 32,932 MW dan di musim dingin, luar beban puncak sebesar 16,173 MW (C.R. Chen, C.H. Lee, 2014), atau di Indonesia pada waktu beban puncak antara pukul 18.00-22.00 mencapai 11000 MW dan diluar waktu beban puncak sebesar maksimal 9000 MW (PLN).



Gambar 1.2 Karakteristik beban (PLN)

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Menentukan koordinasi rele arus lebih yang sesuai untuk sistem yang adaptif.
2. Menentukan *similarity* antara urutan data dari data input berupa pembangkit yang terhubung ke sistem dan informasi arus yang melewati semua rele pada saat terjadi gangguan, dengan urutan data didalam *database* menggunakan algoritma *Multiple Sequence Alignment* (MSA).

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian menggunakan sistem distribusi radial 5 bus 20 kV.
2. Koordinasi rele diterapkan untuk rele arus lebih.
3. Hubung singkat yang terjadi tidak simultan.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan koordinasi rele berbasis algoritma *Multiple Sequence Alignment* (MSA).
2. Sebagai riset untuk diterapkan pada sistem yang riil.

1.5 Kontribusi Penelitian

Beberapa penelitian tentang topik koordinasi rele yang bersifat adaptif diantaranya oleh A.Y. Abdelaziz dkk [8] menjelaskan konfigurasi fungsional antara rele, *substation computer* dan *central computer* yang digunakan untuk komunikasi data dan *update setting* / koordinasi rele ketika terjadi perubahan pada sistem. Kemudian oleh V.Calderano dkk [9] menentukan formula matematik karakteristik trip rele berdasarkan dinamika panas transien pada jaring transmisi untuk setiap perubahan keadaan. Kurva trip ditentukan oleh *microprocessor* berdasarkan akuisisi data dari sensor. Pada tahun 2013, B.C. Sung dkk [10] menentukan formula matematis untuk *update Time Dial Setting* jika terjadi

perubahan beban atau DG yang masuk ke sistem, diuji pada sistem distribusi radial. Penelitian yang terbaru pada tahun 2014 oleh C.R. Chen [11] juga menentukan formula matematis untuk sistem yang adaptif, diuji pada sistem distribusi ring.

Mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya, maka penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi :

1. Skema sistem yang adaptif beserta *setting* dan koordinasi rele arus lebih, tersimpan didalam memori computer / mikrokontroler.
2. Penentuan *setting* / koordinasi rele berdasarkan data pembangkit yang terhubung ke sistem dan data arus yang melewati semua rele ketika terjadi gangguan menggunakan algoritma *Multiple Sequence Alignment* (MSA).

BAB 2

HUBUNG SINGKAT, RELE ARUS LEBIH DAN *MULTIPLE SEQUENCE ALIGNMENT*

2.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan beban lebih (*overload*), dimana gangguan ini terjadi karena arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diizinkan ($I > I_n$). Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik (trafo, generator, motor, dll) dan pengaman yang terpasang. Gangguan lain yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat, yang dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri. Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu.

Dalam menganalisa gangguan yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik digunakan rangkaian urutan positif, negatif dan nol serta hubungannya dengan metode komponen simetri. Arus gangguan ini diperoleh berdasarkan teorema Thevenin dimana impedansi Theveninnya dapat dicari dengan berbagai metode, dalam penelitian ini digunakan metode impedansi bus.

Secara umum tanpa memandang jenis gangguannya, gangguan hubung singkat mempunyai persamaan umum sebagai berikut :

$$V_{a1} = V_f - Z_1 I_{a1} \quad (2.1)$$

$$V_{a2} = -Z_2 I_{a2} \quad (2.2)$$

$$V_{a0} = -Z_0 I_{a0} \quad (2.3)$$

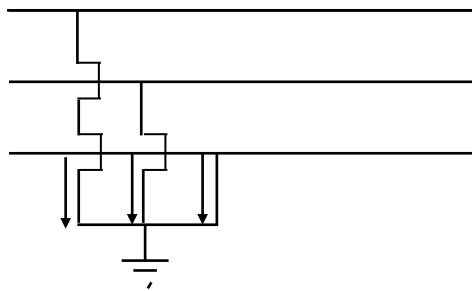
Fasa a selalu diambil sebagai referensi.

V_f = Tegangan titik gangguan pada keadaan normal (1 pu).

Z_1, Z_2, Z_0 = Impedansi urutan positif, negatif dan nol ditinjau dari titik gangguan.

2.1.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Ketanah

Gangguan hubung singkat tiga fasa ketanah sering juga disebut gangguan simetri atau gangguan tiga fasa seimbang yaitu hubung singkat antar fasa a,b,c ke tanah. Besarnya arus gangguan ketanah adalah sama besar untuk tiap-tiap fasa dan simetri sehingga arus yang mengalir hanya arus urutan positif.



Gambar 2.1 Hubung Singkat Tiga Fasa

Besarnya arus gangguan adalah $I_{a0} = I_{a2} = 0$

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \quad (2.4)$$

$$I_b = I_c = I_{a1} \quad (2.5)$$

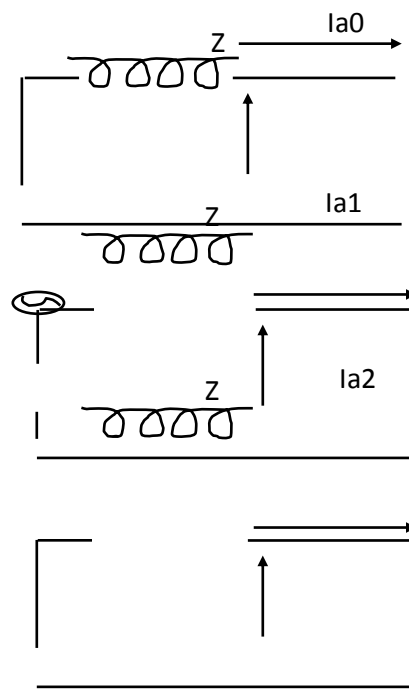
Dari perbedaan tersebut menunjukkan bahwa masing-masing rangkaian pengganti urutan tidak dihubungkan sehingga besarnya arus hubung singkat adalah sama untuk masing-masing saluran.

$$V_{a0} =$$

$$V_{a1} = V_{a2} = 0 \quad (2.6)$$

$$I_{a1} =$$

$$V_a / Z_1 \quad (2.7)$$



Gambar 2.2 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Tiga Fasa Ketanah

2.1.2 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Ketanah Dengan Impedansi

Pada umumnya gangguan tiga fasa adalah yang seimbang, Gambar 2.3 menunjukkan gangguan tiga fasa dengan impedansi busur Z_f dan impedansi tanah Z_g .

Dengan persamaan :

$$V_a -$$

$$V_b = 0 \quad (2.8)$$

$$V_a -$$

$$V_c = 0 \quad (2.9)$$

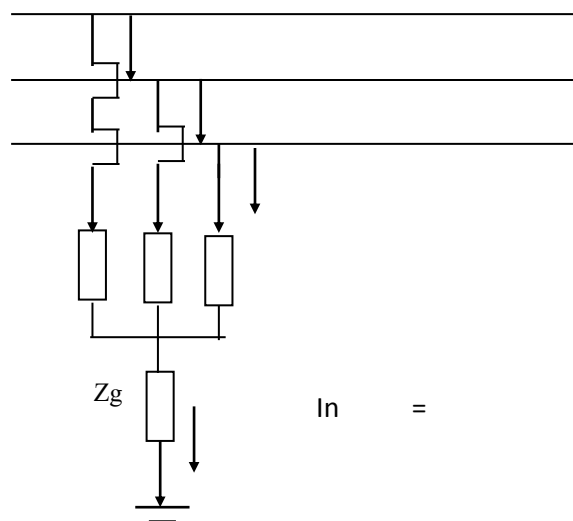
$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (2.10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan ini diperoleh :

$$V_{a0} = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) = V_a \quad (2.11)$$

$$\frac{1}{3} (V_a + aV_b + a^2V_c) = 0 \quad (2.12)$$

$$V_{a1} = V_{a0} \quad (2.13)$$



Gambar 2.3 Hubung Singkat Tiga Fasa Kitanah Dengan Impedansi

$$\frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = 0 \quad (2.14)$$

$$I_{a1} =$$

$$\frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) = I_a \quad (2.15)$$

$$I_{a2} =$$

$$I_{a0} = 0 \quad (2.16)$$

$$I_{a1} =$$

$$\frac{V_f}{Z_1} \quad (2.17)$$

Karena impedansi busur Z_f tidak dapat diabaikan, maka arus gangguan I_f dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

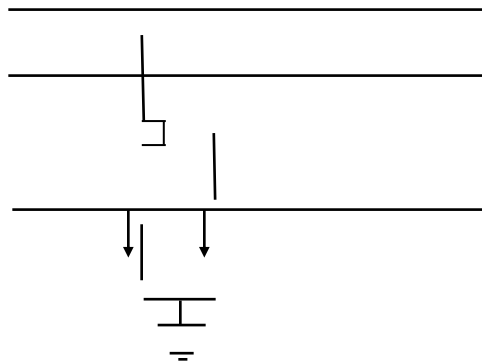
$$V_f =$$

$$I_{a1} (Z_1 + Z_f) \quad (2.18)$$

$$I_f =$$

$$\frac{V_f}{(Z_1 + Z_f)} \quad (2.19)$$

2.1.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah



Gambar 2.4 Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah

Selama terjadi gangguan keadaan sistem adalah sebagai berikut :

$$I_a = 0$$

$$(2.20)$$

$$V_b =$$

$$V_c = 0$$

$$(2.21)$$

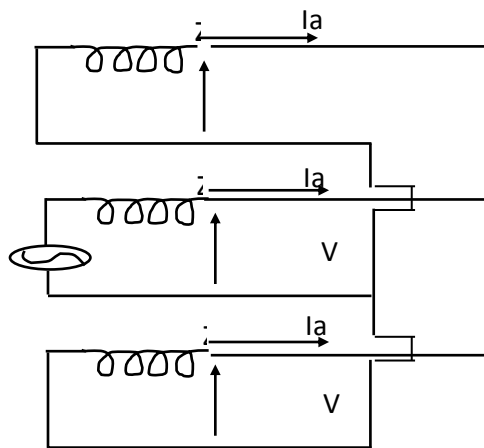
Dari komponen simetri diperoleh $V_{012} = A^{-1} V_{abc}$

Dengan substitusi persamaan diatas maka $V_{a0} = v_{a1} = v_{a2} = 1/3 V_a$

Arus yang mengalir pada fasa a adalah sebagai berikut :

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = 0$$

$$(2.22)$$



Gambar 2.5 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat
Dua Fasa Ketanah

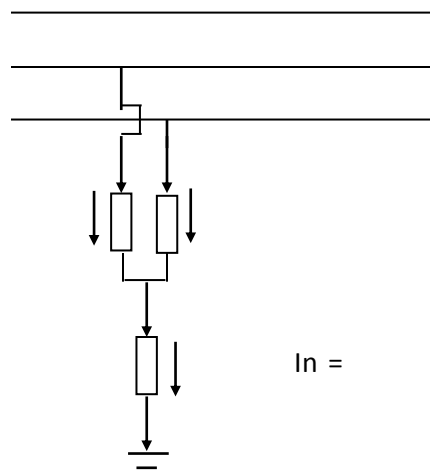
Dari rangkaian pengganti diatas terlihat urutannya terhubung paralel, diperoleh besarnya arus urutan yang mengalir ketanah

$$I_{a1} = \frac{V_a}{Z_1} + \left[\frac{Z_2 \times Z_0}{Z_2 + Z_0} \right] \text{ dan } I_{a2} = \left[\frac{-Z_0}{Z_2 + Z_0} \right] I_{a1} \quad (2.23)$$

$$I_{a0} = \left[\frac{-Z_2}{Z_2 + Z_0} \right] I_{a1} \quad (2.24)$$

2.1.4 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah Dengan Impedansi

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah terjadi jika dua kawat terhubung dengan tanah atau dengan netral sistem tiga fasa. Gambar 2.6 menunjukkan gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dengan impedansi gangguan Z_f dan Z_g . Impedansi Z_f merupakan tahanan busur sedangkan impedansi Z_g terdiri dari tahanan menara dan tahanan kaki menara.



Gambar.2.6 Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah Dengan Impedansi

Persamaan keadaan :

$$I_a = 0$$

$$(2.25)$$

$$V_b =$$

$$I_b Z_f + (I_b + I_c) Z_g \quad (2.26)$$

$$I_c Z_f + (I_b + I_c) Z_g \quad V_c = \quad (2.27)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan ini didapat :

$$I_{a_1} + I_{a_2} + I_{a_0} = 0 \quad (2.28)$$

$$+ a V_{a_2} + V_{a_0} = (a^2 I_{a_1} + a I_{a_2} + I_{a_0}) + (I_b + I_c) Z_g \quad a^2 V_{a_1} \quad (2.29)$$

$$a V_{a_1} + a^2 V_{a_2} + V_{a_0} = (a I_{a_1} + a^2 I_{a_2} + I_{a_0}) + (I_b + I_c) Z_g \quad (2.30)$$

Persamaan 2.28 dan 2.29 dikurangkan dan didapat :

$$(a^2 - a) V_{a_1} + (a - a^2) V_{a_2} = (a^2 - a) I_{a_1} Z_f + (a - a^2) I_{a_2} Z_f \quad (2.31)$$

atau

$$I_{a_1} Z_f = V_{a_2} - I_{a_2} Z_f \quad V_{a_1} - \quad (2.32)$$

Persamaan 2.30 dan 2.31 ditambahkan, didapat :

$$-V_{a_1} - V_{a_2} + 2V_{a_0} = -I_{a_1} Z_f - I_{a_2} Z_f + 2(I_{a_0} Z_f + (I_b + I_c) Z_g)$$

atau

$$(V_{a_1} - I_{a_1} Z_f) + (V_{a_2} + I_{a_2} Z_f) = 2(V_{a_0} - I_{a_0} Z_f (Z_f + 3Z_g)) \quad (2.33)$$

Dari persamaan tersebut diperoleh :

$$2(V_{a_1} - I_{a_1} Z_f) = 2(V_{a_0} - I_{a_0} Z_f (Z_f + 3Z_g)) \quad (2.34)$$

Jadi

$$\begin{aligned}(V_{a1} - I_{a1}Z_f) &= (V_{a1} - I_{a1}Z_f) \\ &= (V_{a0} - I_{a0}Z_f(Z_f + 3Z_g))\end{aligned}\quad (2.35)$$

Selanjutnya arus dan tegangan urutannya dapat diperoleh :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{\frac{Z_1 + Z_f + (Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g)}{\dots\dots\dots(Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g)}}\quad (2.36)$$

atau

$$I_{a1} = \frac{V_f \cdot Z_q / Z_f}{\dots\dots\dots}\quad (2.37)$$

$$I_{a2} = - \frac{I_{a1}(Z_0 + Z_f + 3Z_g)}{Z_q}\quad (2.38)$$

$$I_{a0} = - \frac{I_{a1}(Z_2 + Z_f)}{Z_q}\quad (2.39)$$

Dengan

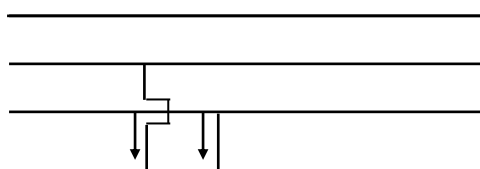
$$Z_f = (Z_1 + Z_f)(Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g) + (Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g)\quad (2.40)$$

$$Z_q = Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g\quad (2.41)$$

Dengan demikian arus pada titik gangguan dapat diperoleh :

$$\begin{aligned}I_f &= I_b \\ &+ I_c = 3 I_{a0}\end{aligned}\quad (2.42)$$

2.1.5 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa



Gambar 2.7 Hubung Singkat Antar Fasa

Keadaan sistem selama terjadi gangguan adalah sebagai berikut :

$$I_{a0} = 0 \quad (2.43)$$

$$I_b = -I_c \quad (2.44)$$

$$V_b = V_c \quad (2.45)$$

Berdasarkan komponen simetri arus yang mengalir pada fasa a :

$$I_{a0} = 1/3 (I_a + I_b + I_c) = 0 \quad (2.46)$$

$$I_{a1} = 1/3 (I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad (2.47)$$

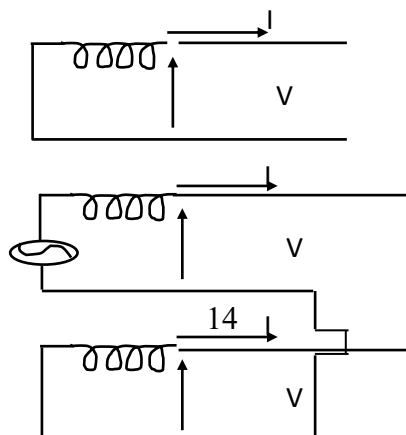
$$I_{a2} = (a^2 - a) / 3 I_c \quad (2.48)$$

$$I_{a2} = 1/3 (I_a + a^2 I_b + a I_c) = (a^2 - a) / 3 I_c \quad (2.49)$$

$$\text{Sehingga diperoleh persamaan } I_{a2} = -I_{a1} \quad (2.50)$$

Karena $I_{a0} = 0$, maka $V_{a0} = 0$ sehingga tidak terdapat komponen urutan nol seperti gambar 2.7. Dan besarnya arus urutan positif dan negatif adalah sebagai berikut :

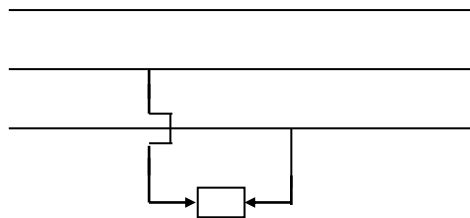
$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{V_a}{Z_1 + Z_2} \quad (2.51)$$



Gambar 2.8 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Antar Fasa

2.1.6 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Dengan Impedansi

Gangguan antar fasa terjadi umumnya bila dua kawat fasa bersentuhan. Gambar 2.9 menunjukkan gangguan antar fasa dengan impedansi gangguan Z_f .



Gambar 2.9 Hubung Singkat Dua Fasa Dengan Impedansi

Dapat ditulis dengan persamaan :

$$I_a = 0 \quad (2.52)$$

$$I_c = -I_b \quad (2.53)$$

$$V_c = I_b Z_f \quad (2.54)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan diatas didapat :

$$I_{a0} = 0 \quad (2.55)$$

$$I_{a1} = -I_{a2} \quad (2.56)$$

$$V_b - V_c = (a^2 - a) V_{a1} - (a^2 - a) V_{a2} = (a^2 - a) I_{a1} Z_f \quad (2.57)$$

atau

$$V_{a2} = I_{a1} Z_f \quad (2.58)$$

$$V_{a1} = V_{a2} + I_{a1} Z_f \quad (2.59)$$

$$V_{a1} = V_{a2} + I_{a1} (Z_f/2 + Z_f/2) \quad (2.60)$$

$$V_{a0} = 0 \quad (2.61)$$

$$V_{a1} = V_f - I_{a2} Z_2 \quad (2.62)$$

$$V_{a2} = -I_{a2} Z_2 \quad (2.63)$$

$$I_{a2} = \frac{V_f}{(Z_1 + Z_2 + 3Z_f)} \quad (2.64)$$

Sehingga arus gangguan adalah :

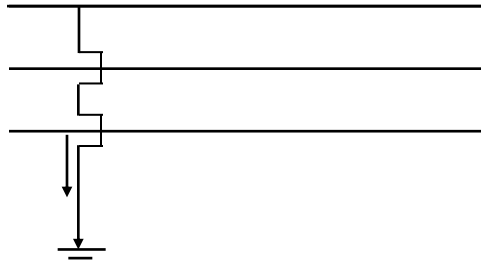
$$I_f = I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}$$

$$= (a^2 - a) I_{a1}$$

$$= -j$$

$$\sqrt{\frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f}} \quad (2.65)$$

2.1.7 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah



Gambar 2.10 Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah adalah gangguan yang paling sering terjadi seperti yang ditunjukkan oleh gambar diatas. Selama terjadi gangguan keadaan sistem adalah :

$$I_b = I_c$$

$$= 0 \quad (2.66)$$

$$V_a = 0$$

$$(2.67)$$

Transformasi arus ke dalam komponen simetri adalah

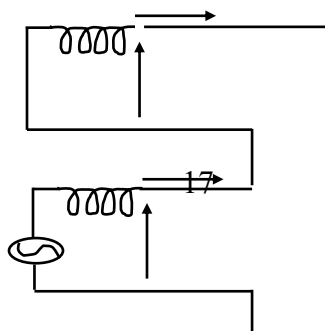
$$I_{012} =$$

$$A^{-1} abc \quad (2.68)$$

$$\text{Sehingga } I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = 1/3 I_a \quad (2.69)$$

Dan tegangan :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = 0 \quad (2.70)$$



Gambar 2.11 Rangkaian Pengganti
Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

Sehingga :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{3V_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.71)$$

2.1.8 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah Dengan Impedansi

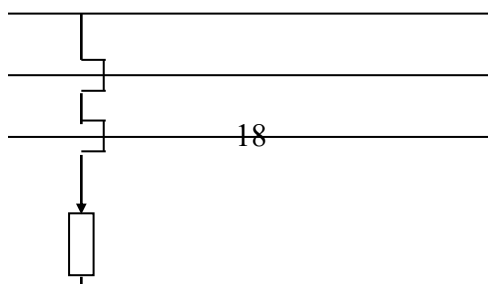
Gambar 2.12 memperlihatkan gangguan satu fasa ke tanah dengan impedansi gangguan Z_f .

Dengan persamaan :

$$I_b = 0 \quad (2.72)$$

$$I_c = 0 \quad (2.73)$$

$$I_a Z_f = V_a \quad (2.74)$$



Gambar 2.12 Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah
Dengan Impedansi

Dengan mensubstitusikan persamaan ini akan diperoleh :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} \quad (2.75)$$

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = (I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}) Z_f \\ &= 3 I_{a1} Z_f \end{aligned} \quad (2.76)$$

$$(V_{a1} - I_{a1} Z_f) + (V_{a2} - I_{a2} Z_f) + (V_{a0} - I_{a0} Z_f) = 0 \quad (2.77)$$

$$V_{a1} = -V_{a2} - V_{a0} + 3 I_{a1} Z_f \quad (2.78)$$

$$V_{af} - I_{a1} Z_f = I_{a1} Z_2 + I_{a1} Z_0 + 3 I_{a1} Z_f \quad (2.79)$$

$$V_f = I_{a1} (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_f) \quad (2.80)$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_f} \quad (2.81)$$

$$I_{a1} = I_{a2}$$

Dengan demikian arus gangguan dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut

$$I_f = 3 I_{a1} = \frac{3 V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_f} \quad (2.82)$$

2.2 Rele Proteksi

Pemilihan rele proteksi harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut : proteksi maksimum, biaya peralatan minimum, proteksi yang handal, operasi cepat, desain *simple*, sensitivitas tinggi terhadap gangguan, dan tidak sensitif terhadap arus beban normal.

Zona proteksi diklasifikasikan sebagai primer dan *back up*. Rele proteksi primer adalah pertahanan pertama terhadap gangguan sistem dan beroperasi pertama untuk mengisolasi gangguan. Umumnya, rele kecepatan tinggi (misal,

waktu operasi *breaker* 1 *cycle* hingga 3 *cycle*). Jika gangguan tidak terisolasi setelah beberapa waktu *delay*, proteksi *backup* akan bekerja dengan melakukan *trip circuit breaker* utama atau dengan melakukan *trip circuit breaker* pada zona yang berdekatan.

2.2.1 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih adalah rele yang beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut :

$$I_f > I_p \text{ rele bekerja (trip)} \quad (2.83)$$

$$I_f < I_p \text{ tidak bekerja (blok)} \quad (2.84)$$

Dimana I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Dan I_f merupakan arus gangguan yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT. Rele arus lebih ini hampir melindungi semua bagian pada sistem tenaga listrik misalnya jaringan transmisi, trafo, generator, dan motor. Rele arus lebih dapat berupa rele arus lebih waktu tertentu, rele arus lebih waktu *invers*, rele arus lebih waktu instan.

2.2.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih ini dapat diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan *level* arus yang berbeda. Sehingga dengan menggunakan rele arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang *di-setting*. Semua *level* arus yang melebihi *pickup setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*). Gambar 2.13 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.

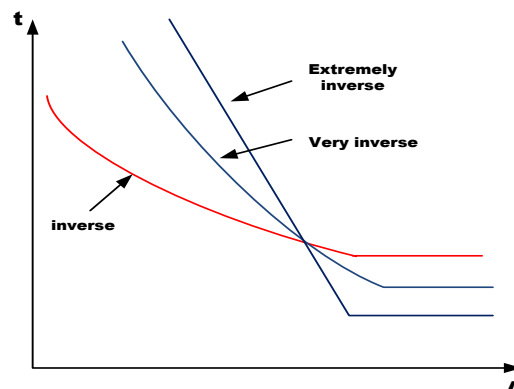


Gambar 2.13 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.2.3 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Rele arus lebih ini memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Jadi, semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, dan juga sebaliknya jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele akan lebih lama. TCC (*time-current characteristic*) adalah kurva dengan skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut.

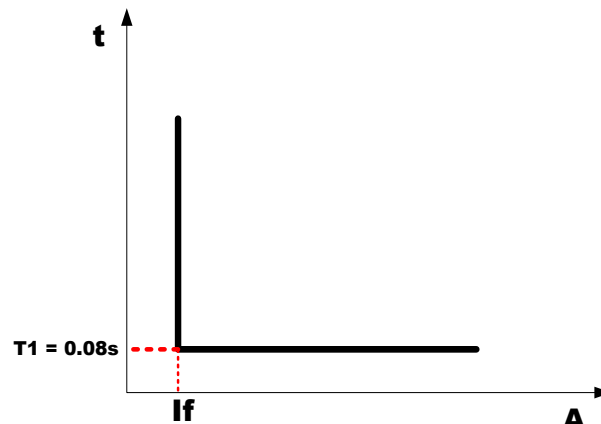
Karakteristik *inverse* ini dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Standar-standar ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu *inverse* yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse* seperti pada Gambar 2.14. Standar lain, misalnya standar IEEE juga memberikan karakteristik kurva yang lain, seperti *moderately inverse*, *long time inverse*, dan *short time inverse*. Kurva *inverse* ini sering dijumpai dengan *inverse definite minimum time* (IDMT), karena seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi turun semakin cepat seolah mendekati waktu *definite* minimumnya.



Gambar 2.14 Karakteristik *Standard Inverse*, *Very Inverse* dan *Extremely Inverse*

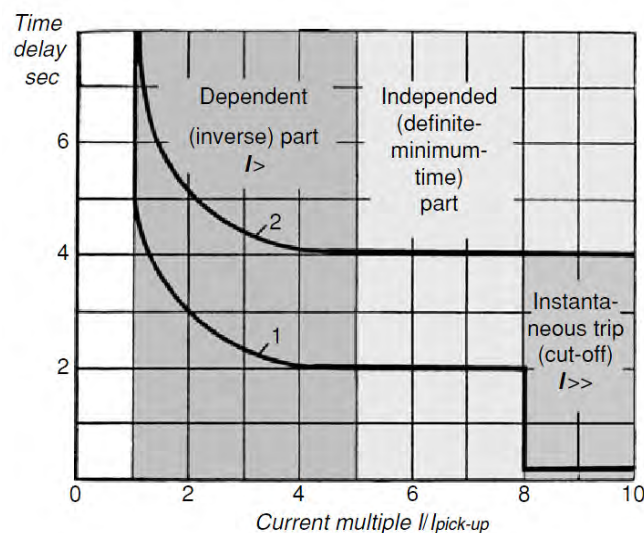
2.2.4 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Prinsip kerja rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0.1 detik, pada umumnya kurang dari 0.08 detik, seperti terlihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Instan

Bekerjanya rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 ms). Gambar 2.16 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan.



Gambar 2.16 Kombinasi IDMT dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan

2.3 Multiple Sequence Alignment (MSA)

Awal tahun 1980-an, MSA digunakan dalam bidang bioinformatika untuk menyelesaikan permasalahan struktur protein, evolusi molekuler atau perhitungan yang melibatkan urutan DNA, RNA atau protein. Urutan DNA dinyatakan dengan karakter {A, C, G, T}, urutan RNA dinyatakan dengan {A, C, G, U}, dan urutan protein dinyatakan dengan {A, R, N, D, C, Q, E, G, H, I, L, K, M, F, P, S, T, W, Y, F}. MSA adalah metoda untuk menyusun tiga atau lebih urutan DNA, RNA atau protein untuk diidentifikasi kesamaan hubungan yang mungkin secara fungsional, struktural atau *evolutionary* dari keturunan atau nenek moyangnya. *Sequence Alignment* nukleotida atau asam amino dipresentasikan dalam sebuah matrik.

Dalam bioinformatika, analisis urutan DNA merupakan suatu tahap yang sering dilakukan. Urutan DNA yang terdiri dari kombinasi basa ATCG (*A-Adenine, T-Thymine, G-Guanine, C-Cytosine*) dapat dikomparasi dengan urutan lain. Pengkomparasian ini dikenal dengan istilah *sequence alignment*, secara garis besar *alignment* ini juga dapat dilakukan untuk protein sesuai gambar 2.17. Jika panjang antara urutan yang dibandingkan tidak sama maka dapat diberikan *gaps* untuk mengisi kekosongan.

```

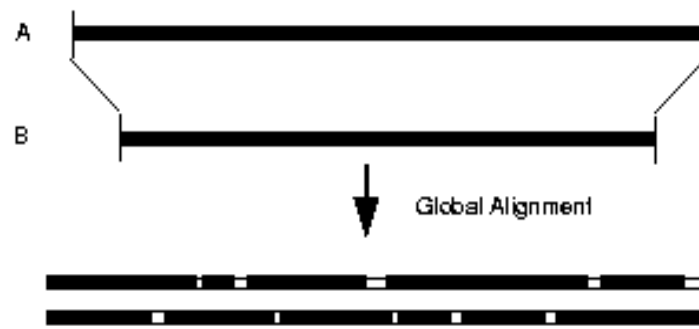
AAB24882      TYHMCQFHCRVNNHSGEKLIECNERSKAFSCPSHLQCHKRRQIGKTHEHNQCGKAFPT 60
AAB24881      -----YECNQCGKAFQHSLSKCHYRTHIGKPYECNQCGKAFSK 40
                ****: ,***: * *:*** * :****,:* *****,,

AAB24882      PSHLQYHERHTHTGKPYECHQCGQAFKKCSLLQRHKRTHHTGKPYE-CNQCGKAFQ- 116
AAB24881      HSHLQCHKRTHHTGKPYECNQCGKAFSQHLLQRHKRTHHTGKPYMNVINMVKPLHNS 98
                **** *:*****:***:**,: ,*****:***** : *,: :

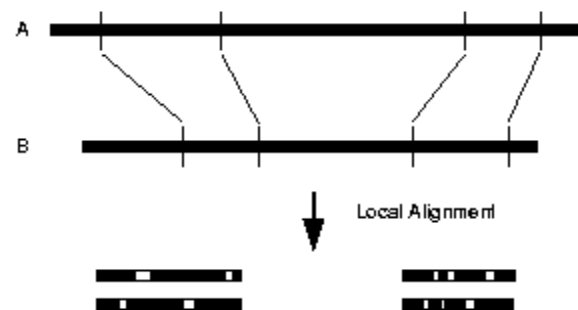
```

Gambar 2.17 *Sequence Alignment* Pada Protein

Dikenal tiga tipe dari *sequence alignment*, yaitu *Pairwise Alignment* yang terdiri dari dua aplikasi : *global alignment* pada gambar 2.18 dimana semua karakter dalam suatu urutan dibandingkan, dan *local alignment* pada gambar 2.19 yang membandingkan suatu *subset* dari urutan saja.



Gambar 2.18 *Global Alignment*



Gambar 2.19 *Local Alignment*

Keduanya baik *global alignment* maupun *local alignment* memakai suatu metode tertentu sehingga terjadi kemiripan terbaik antara urutan dengan urutan lain yang ditujukan untuk melihat homologi suatu urutan. Hal ini berguna untuk mengidentifikasi urutan dari struktur yang belum diketahui atau untuk penyelidikan evolusi, yaitu penyelidikan apakah suatu urutan berasal dari keturunan yang sama. Yang kedua kedua adalah *structural alignment* yang digunakan pada protein dengan berdasarkan dari lipatannya (secara 3D), dan ketiga yaitu *multiple alignment* yang mengkomparasi lebih dari dua urutan.

Kelebihan metode MSA adalah bahwa metode ini memberikan informasi yang lebih dibanding metode yang lain. Sebagai contoh, MSA dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola dan motif *sequence* dalam *sequence family* yang tidak jelas untuk dideteksi dengan hanya membandingkan dua urutan. Banyak data dan fungsional asam amino dapat diidentifikasi dalam *multiple alignment* sebuah protein. MSA juga merupakan syarat penting menyelesaikan analisa *phylogenetic* sebuah urutan dan syarat memprediksi struktur kedua dan

ketiga sebuah protein. MSA juga digunakan untuk mendesain *polymerase chain reaction* (PCR) primer yang turun berdasarkan *multiple related sequences*.

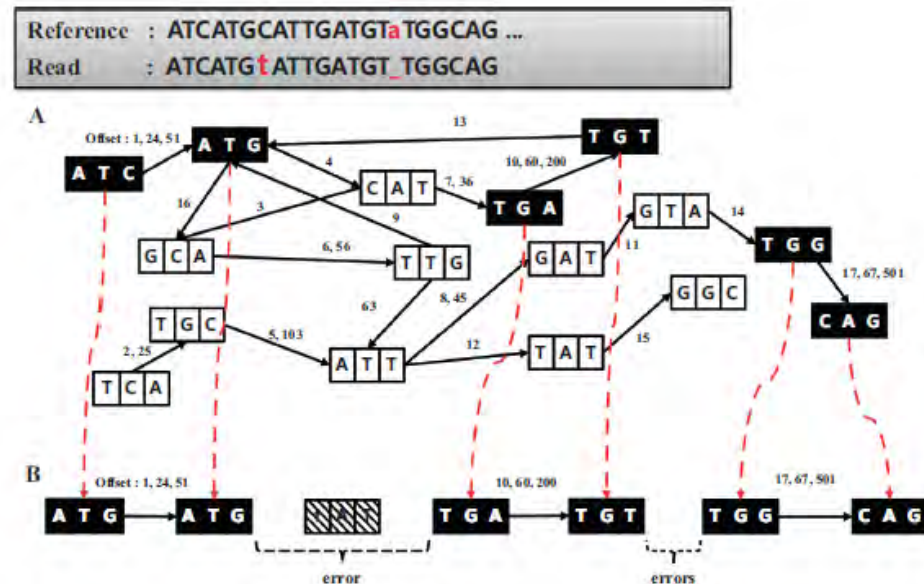
Beberapa metode yang digunakan dalam analisa *sequence* :

1. Scoring Function

MSA dicocokkan berdasarkan *scoring function* khusus. *Scoring function* untuk MSA berdasarkan konsep *sum of pairs* (SP). SP adalah penjumlahan semua kemungkinan pasangan urutan dalam *multiple sequence alignment* berdasarkan penilaian matrik khusus. Dalam perhitungan skor SP, setiap kolom dinilai dengan menjumlahkan nilai dari semua kemungkinan yang ada. Skor SP untuk setiap kolomnya didefinisikan sebagai $S(m_i)$ dengan k dan l adalah baris urutan / *sequence* dan i menunjukkan urutan kolom.

$$S(m_i) = \sum_{k < l} s(m_i^k, m_i^l) \quad (2.85)$$

Pada Gambar 2.6, terdapat contoh *alignment* antara dua urutan, yang menandakan *gap* (_), *match* (|) dan *misMatch* (*).



Gambar 2.20 Analisis Dua Urutan Data

2. Exhaust Algorithm

Selain *scoring function*, metode MSA juga menggunakan pendekatan *exhaustic* dan heuristik, *alignment* melibatkan pemeriksaan semua posisi yang

sejajar mungkin secara bersamaan. Mirip dengan pemrograman dinamis dalam mensejajarkan dua pasangan urutan, yang melibatkan penggunaan dua dimensi matrik untuk mencari penyelarasan yang optimal. Selama menggunakan pemrograman dinamis untuk *multiple sequence alignment*, dimensi ekstra dibutuhkan untuk mengambil semua kemungkinan cara dalam mencocokkan urutan yang menjadi pertimbangan. Hal ini berarti mendirikan sebuah pencarian matrik multidimensi. Sebagai contoh, untuk tiga *sequence*, tiga dimensi matrik diperlukan untuk menghitung semua nilai keselarasan yang mungkin. *Back tracking* dilakukan melalui matrik tiga dimensi untuk menemukan jalan mencetak nilai tertinggi yang merupakan *alignment* / penyelarasan yang optimal. Untuk *alignment* urutan N, N-dimensi matrik diperlukan untuk diisi dengan nilai *alignment*.

Dengan metode ini, proses perhitungan membutuhkan ruang memori yang meningkat secara eksponensial dengan urutan penghalang kumpulan data yang besar, sehingga pemrograman dinamis dibatasi yaitu kurang dari sepuluh urutan pendek. Untuk masalah yang sama, sedikit program *multiple alignment* menggunakan pendekatan ‘*burte force*’ yang tersedia secara umum. Sebuah program yang disebut (*Divide and Conguer Alignment*) DCA, menggunakan beberapa komponen lengkap.

DCA adalah program berbasis web yang *semi exhaustive* karena ada *step* tertentu yang dikurangkan secara heuristik. Hal ini dilakukan dengan memecah urutan-urutan kedalam dua bagian kecil. Titik pemutusan ditentukan berdasarkan kesamaan regional dari urutan tersebut. Jika bagian tersebut tidak cukup pendek, dilakukan pembagian lagi. Jika panjang urutan sesuai dengan yang ditentukan, pemrograman dinamis digunakan untuk mensejajarkan setiap bagian urutan. Hasil pensejajaran bagian-bagian pendek ini kemudian digabung bersama dari awal hingga akhir urutan untuk mendapatkan pensejajaran urutan secara menyeluruh. Algoritma ini menyediakan pilihan penggunaan prosedur yang lebih heuristik (*fast DCA*) untuk menentukan titik pemutusan yang optimal sehingga secara cepat dapat menangani urutan yang lebih besar. Hal ini membentuk penyelarasan secara global dan membutuhkan input urutan yang memiliki struktur asal dan panjang yang sama.

3. Heuristic Algorithm

Penggunaan pemrograman dinamis tidak sesuai untuk *sequence alignment* yang panjang, oleh karena itu algoritma heuristik yang lebih cepat telah dikembangkan. Algoritma heuristik dikategorikan menjadi tiga tipe : *progressive alignment*, *iterative alignment* dan *block-based*.

Pada tipe *progressive alignment* tergantung pada *step* pengumpulan *multiple alignment* dan di alam berupa heuristik. *Progressive alignment* ini memiliki kecepatan yang tinggi dalam mensejajarkan urutan yang banyak dengan proses *step* yang banyak.

Tipe *iterative alignment* merupakan pendekatan berdasarkan ide bahwa solusi optimal dapat ditemukan dengan memodifikasi solusi sub optimal yang ada secara berulang kali. Berawal dengan memproduksi *low quality alignment* dan secara perlahan meningkat dengan iterasi penyelarasan urutan kembali sampai tidak ada lagi peningkatan yang bisa dicapai dalam *alignment score*.

Tipe *block based alignment* dibentuk karena tipe *progressive alignment* dan tipe *iterative alignment* gagal mengenali domain dan motif diantara urutan yang memiliki divergensi tinggi pada urutan dengan panjang yang bervariasi. Aplikasi yang berdasarkan tipe *block based alignment* diantaranya DIALIGN2 (<http://bioweb.pasteur.fr/seqanal/interfaces/dialign2.html>) yaitu program berbasis web yang didesain untuk mendeteksi kesamaan secara lokal, dan *Match-Box* (www.sciences.fundp.ac.be/biologie/bms/matchboxsubmit.shtml) adalah server berbasis web yang bertujuan mengidentifikasi blok tertentu diantara urutan.

Tabel 2.1 menjelaskan beberapa *tools* yang digunakan untuk pencarian *local alignment*, *global alignment* dan *multi alignment* yang dikembangkan berdasarkan konsep pencarian lokal dan *multi alignment* dari data genetika suatu spesies (Matkur H. dkk, 2010).

Tabel 2.1 *Software* untuk Pencarian *Local Alignment*, *Global Alignment* dan *Multi Alignment*

Program	Alignment	Region/Domain
MGA	<i>Multi Genome Aligner</i>	Nukleotida
AVID	<i>Pair-wise</i>	Nukleotida

SLAM	Identifikasi	Nukleotida
SAGA	Algoritma Genetika	Protein
Probalign	<i>Probabilistic</i>	Protein
Pecan	<i>Probabilistic</i>	DNA
MUSCLE	Iteratif	DNA dan Protein
MAVID	Progresif	DNA dan Protein
StatAlign	Bayesian	DNA dan Protein
T-Coffee	Progresif	DNA dan Protein
MAFFT	Iteratif	DNA dan Protein
SAM	HMM	Protein
POA	<i>Partial Order</i>	Protein
MSA	DPA	DNA dan Protein
Kalign	Progresif	DNA dan Protein
FSA	<i>Sequence Annealing</i>	DNA dan Protein
CLUSTALW	Progresif	DNA dan Protein
SSEARCH	Lokal	Protein
SIM	Lokal	DNA dan Protein
Needle	DPA	DNA dan Protein
FASTA	Lokal	DNA dan Protein
BLAST	Lokal	DNA dan Protein

Tabel 2.2 berisi metode-metode yang digunakan pada *software* didalam tabel 2.1 untuk *comparative analysis* (Matkur H. dkk, 2010).

Tabel 2.2 Metode *Alignment* dan Aplikasinya

Metode	Operation	Aplikasi
Pemrograman Dinamis	<i>Global Alignment by Needle-Wunsch and local by Smith waterman</i>	<i>Alignment of nucleotide and protein sequences, guarantees to find an optimal alignment solution but is computationally complex</i>
Progresif	<i>Generation of multiple sequences by alignment of most similar structures at first instance, addition of less similar segments at later stage</i>	<i>Suitable for most similar structures and infeasible for most assorted strands</i>
Iteratif	<i>Try to improve the short-comings in progressive methods. Depict the same</i>	<i>Useful for minute analysis and computationally complex due to heavy calculation and</i>

	<i>dependency of initial similar alignment by progressive methods</i>	<i>dependency on progressive methods</i>
<i>DOT matrix</i>	<i>Aligned characters in sequences are represented by dots, pair-wise alignment can be made</i>	<i>Easy for identification of some specific feature of sequence. Time complex for larger strands</i>
<i>Word</i>	<i>Heuristic Methods (FASTA and BLAST)</i>	<i>Efficient than DPA but does not guarantee the identification of feasible solution</i>

BAB 3

PEMODELAN SISTEM DISTRIBUSI UNTUK KOORDINASI RELE ARUS LEBIH BERBASIS ALGORITMA *MULTIPLE SEQUENCE ALIGNMENT*

Sistem distribusi yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem distribusi 5 bus 20 kV untuk simulasi koordinasi proteksi rele arus lebih yang adaptif dengan menginjeksikan beberapa pembangkit tersebar.

3.1 Sistem Distribusi 5 bus 20 kV

Pembangkit utama pada sistem ini berupa *grid* yang tersambung dengan *Distributed Generator 1* dan *Distributed Generator 2*. *Distributed generator* terhubung dengan bus 2 dan bus 5. Adapun jenis dari DG adalah generator sinkron. Tabel 3.1 dan 3.2 menampilkan spesifikasi *grid* dan generator:

Tabel 3.1 Data *Grid*

No	Jenis	MVAsc (max)	MVAsc (min)	Rating Tegangan
1	Grid	249	244	20 kV

Tabel 3.2 Data *Distributed Generator*

No	Jenis	Rating Daya(MW)	Rating Tegangan(kV)	Power Faktor(%)
1	DG1	8,0	20	85
2	DG2	8,5	20	85

Beban-beban yang terpasang pada simulasi ini terdiri dari *Lumped Load*. Beban jenis ini berupa gabungan beban motor dan beban *static*. Kapasitas beban *Lumped Load* dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Beban

No	Beban	Bus	MVA	Tegangan(kV)	Power Faktor(%)
1	Load 1	1	2,3	20	91,04
2	Load 2	2	2,0	20	98,13
3	Load 3	3	1,507	20	99,50

4	Load 4	4	2,022	20	98,89
5	Load 5	5	3,0	20	89,44

Untuk menghubungkan bus satu dengan lainnya, saluran distribusi pada simulasi digunakan kabel dengan resistansi dan reaktansi tiap kabel berbeda pada tiap hubungan bus.

Tabel 3.4 Data *Line*

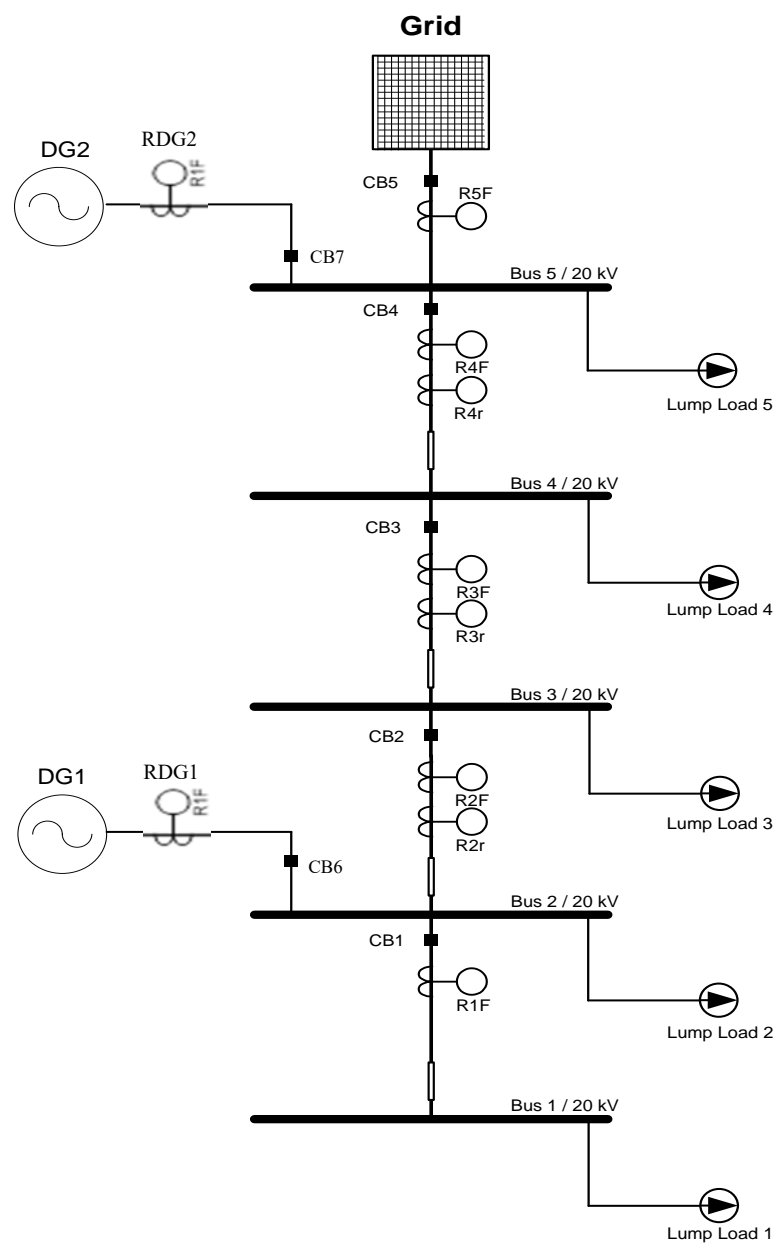
No	Line	R (Ω)	X (Ω)	Jarak (m)
1	Line 1-2	0,1344	0,0632	673
2	Line 2-3	0,4874	0,2284	2437
3	Line 3-4	0,1912	0,0897	956
4	Line 4-5	0,1344	0,0632	672

Sistem proteksi pada simulasi ini menggunakan rele arus lebih sebagai peralatan yang berfungsi memberi perintah *circuit breaker* untuk bertindak *open* / *close* . Rele arus lebih yang berarah digunakan agar rele juga dapat mendeteksi arah gangguan.

Tabel 3.5 Data Pengaman Rele dan CT Saluran Utama

No	Id	Arah	Ratio CT	Line
1	R1F	<i>Forward</i>	120/1	Line 1-2
2	RDG1	<i>Forward</i>	120/1	Line DG 1- Bus 2
3	R2F	<i>Forward</i>	150/1	Line 2-3
	R2R	<i>Reverse</i>	200/1	
4	R3F	<i>Forward</i>	200/1	Line 3-4
	R3R	<i>Reverse</i>	120/1	
5	R4F	<i>Forward</i>	300/1	Line 4-5
	R4R	<i>Reverse</i>	120/1	
6	RDG2	<i>Forward</i>	120/1	Line DG 2- Bus 5
7	R5F	<i>Forward</i>	400/1	Line 5-Grid

Koordinasi rele disimulasikan pada program ETAP 12.6.0 sebagai *output* dari *database*, *input* nya adalah informasi arus dari semua rele ketika terjadi gangguan, algoritma *Multiple Sequence Alignment* digunakan untuk *similarity search* antara data input dengan semua data yang ada didalam *database* dan disimulasikan dalam program Matlab r2013a. Jenis rele pada simulasi ini sudah ditentukan yaitu menggunakan rele ABB REX 521. Rele proteksi REX 521 didesain untuk proteksi, kontrol, pengukuran dan pengawasan pada tegangan menengah.



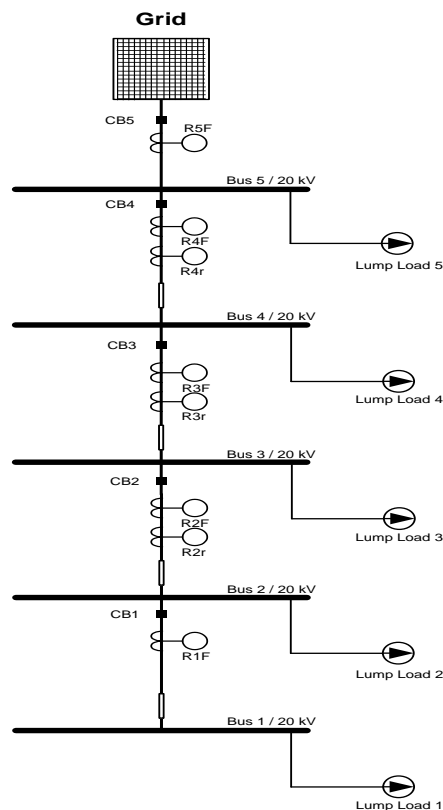
Gambar 3.1 *Single Line Diagram System*

3.2 Perancangan Perubahan Topologi Jaringan

Jaringan distribusi dengan *distributed generator* memiliki karakteristik perubahan konfigurasi yang disebabkan adanya perubahan status DG yaitu kondisi *On / Off* . Hal tersebut menyebabkan beberapa pengaruh terhadap koordinasi proteksi jaringan tersebut. Skema kondisi perubahan topologi jaringan yang dapat terjadi pada simulasi ini diantaranya adalah sebagai berikut:

3.2.1 Jaringan Terhubung Grid dan DG 1, 2 Berstatus *Off*

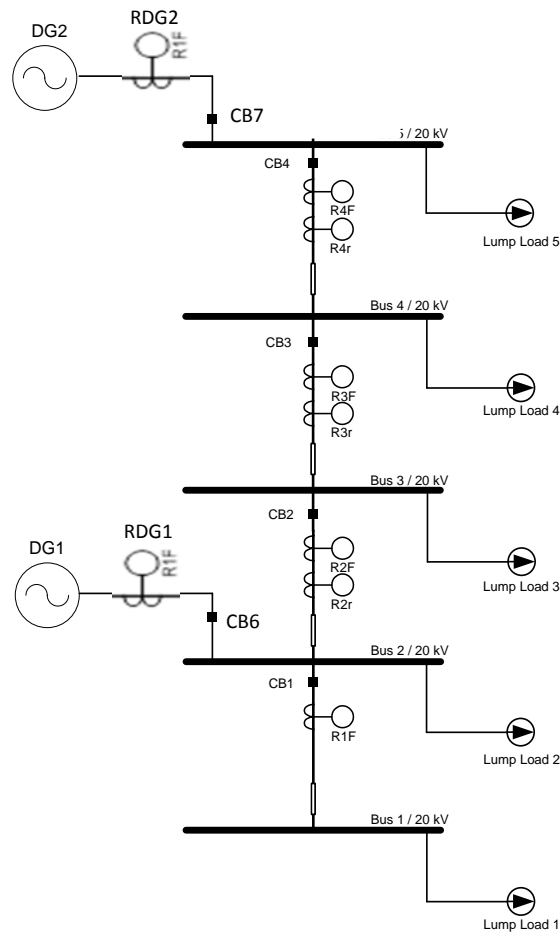
Pada kondisi ini, jaringan mendapat 1 sumber yaitu Grid . Kondisi ini merupakan kondisi saluran distribusi pada umumnya. Beban mendapat sumber yang berasal dari grid utama. Hal ini berpengaruh terhadap koordinasi proteksi dikarenakan jika terjadi gangguan, arus kontribusi mengalir dari sumber menuju gangguan. Gambar 3.2 menampilkan topologi jaringan tersebut.



Gambar 3.2 Jaringan Terhubung Grid dan DG 1, 2 Berstatus *Off*

3.2.2 Jaringan Tidak Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus *On* (*Islanding*)

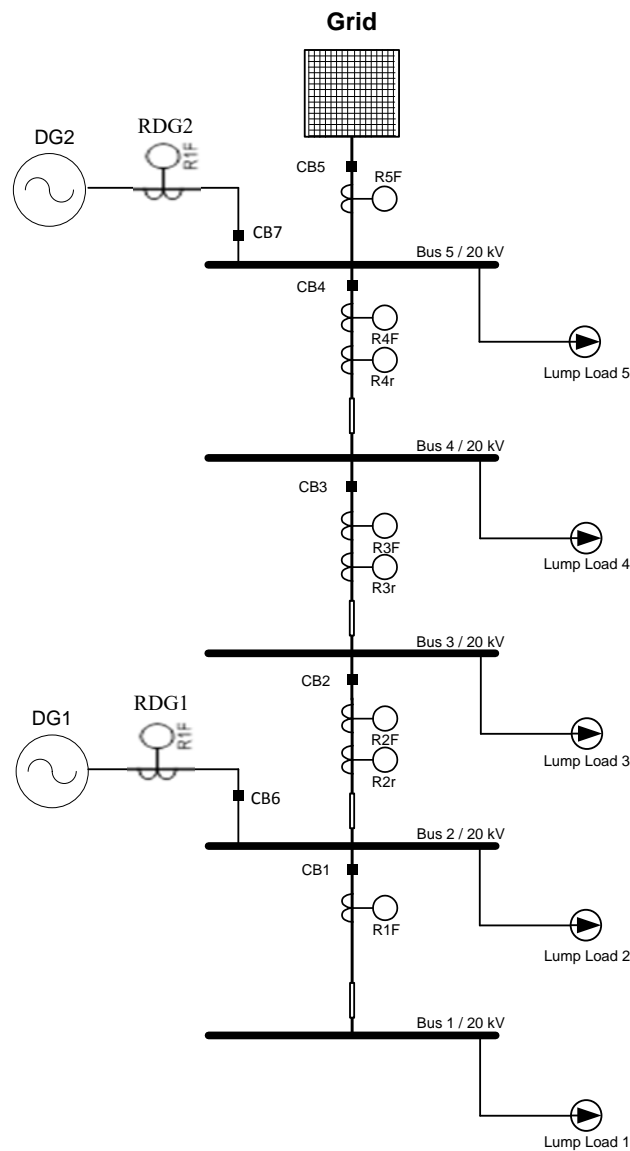
Pada kondisi ini, jaringan mendapat 2 sumber yaitu DG1 dan DG2 Gambar 3.3 menampilkan topologi jaringan tersebut.



Gambar 3.3 Jaringan Tidak Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus *On* (*Islanding*)

3.2.3 Jaringan Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus *On*

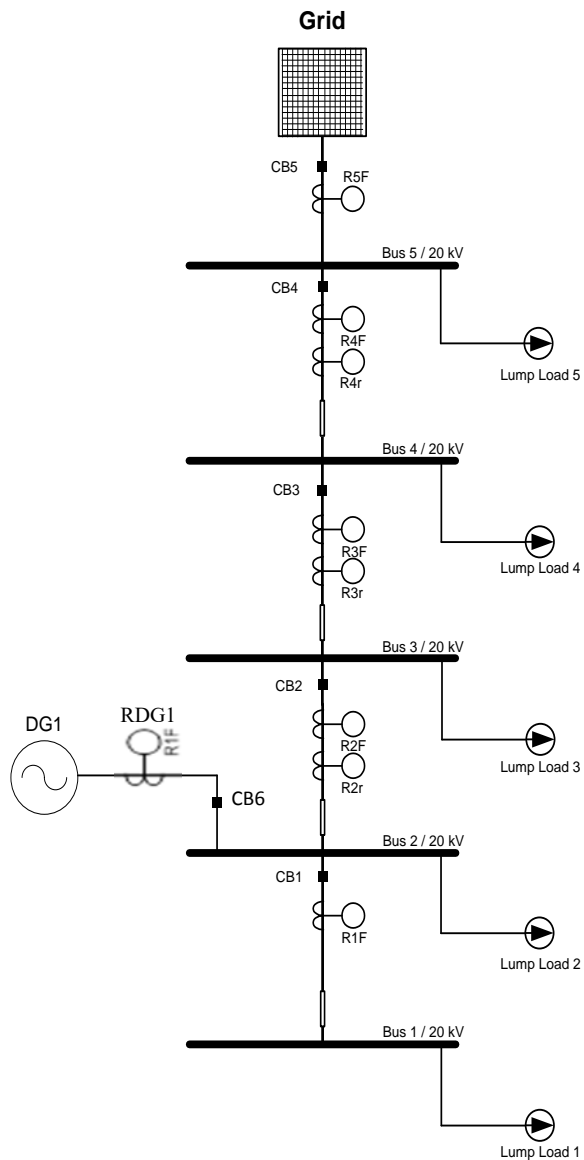
Pada kondisi ini, jaringan mendapat 3 sumber yaitu Grid , DG1 dan DG2 dengan sumber utama adalah Grid. Gambar 3.4 menampilkan topologi jaringan tersebut.



Gambar 3.4 Jaringan Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus *On*

3.2.4 Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 1 Berstatus *On* Sedangkan DG 2 *Off*

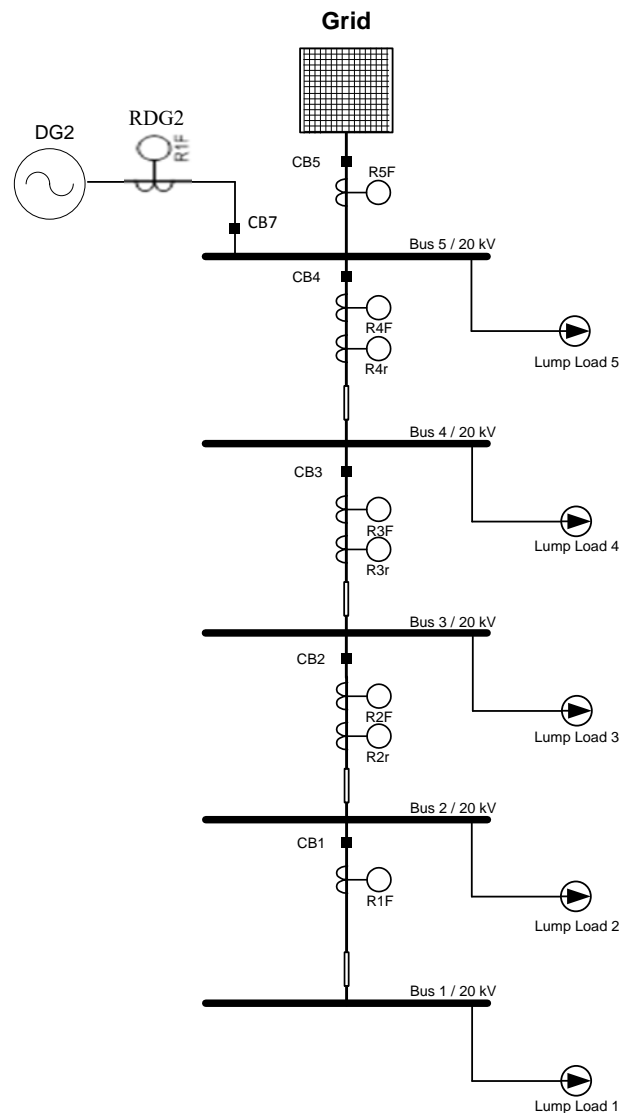
Pada kondisi ini, jaringan mendapat 2 sumber yaitu Grid dan DG1 dalam konfigurasi ini, jika terjadi gangguan pada salah satu bus diantara Grid dan DG1, maka perlu diperhatikan arus kontribusi yang menuju bus tersebut berbeda dengan kondisi pada 3.2.3. Gambar 3.5 menampilkan topologi jaringan tersebut.



Gambar 3.5 Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 1 Berstatus *On* Sedangkan DG 2 *Off*

3.2.5 Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 2 Berstatus *On* Sedangkan DG 1 *Off*

Pada kondisi ini, jaringan mendapat 2 sumber yaitu Grid dan DG2 Gambar 3.6 menampilkan topologi jaringan tersebut.



Gambar 3.6 Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 2 Berstatus *On* Sedangkan DG 1 *Off*

3.3 Setting Rele Arus Lebih

Penyetelan rele arus lebih dilakukan untuk sistem yang adaptif sesuai skema pada sub bab 3.2.

3.3.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. *Rele* arus lebih memiliki setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Pada

rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (3.1)$$

I_{set} adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut standart British BS 142 batas penyetelannya adalah 1.05-1.3 I_{set} .

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik *inverse* rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut [9]:

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]} \quad (3.2)$$

Dimana :

td = waktu operasi (detik)

T = *time dial*

I = nilai arus (Ampere)

I_{set} = arus *pickup* (Ampere)

k = koefisien *inverse* 1

α = koefisien *inverse* 2

β = koefisien *inverse* 3

Tabel 3.6 Koefisien *Inverse Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

3.3.2 Setting Rele Arus Lebih Instan

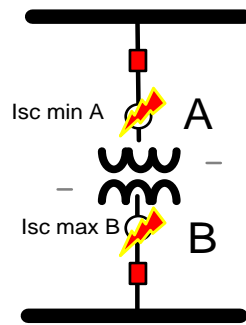
Rele arus lebih instan akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan

ini digunakan $I_{sc \text{ min}}$ yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc \text{ min}} \quad (3.3)$$

Untuk pertimbangan khusus, proteksi *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi rele dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV), dan daerah *high voltage* (HV) seperti pada Gambar 3.7. Untuk menentukan *setting pickup* dengan syarat sebagai berikut:

$$I_{sc \text{ max bus B}} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \text{ min, A}} \quad (3.4)$$



Gambar 3.7 Rele Arus Lebih Pengamanan Trafo

Di mana $I_{sc \text{ max bus B}}$ merupakan arus hubung singkat tiga phasa maksimum pada titik B, sedangkan $I_{sc \text{ min, A}}$ adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

3.3.3 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Antara rele pengaman utama dan rele pengaman backup tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara rele utama dan rele *backup*. *Time delay* ini sering dikenal sebagai setelan *setting* kelambatan waktu (Δt) atau *grading time*. Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0.2 – 0.35 detik. Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0.04 – 0.1s (2-5 cycle)

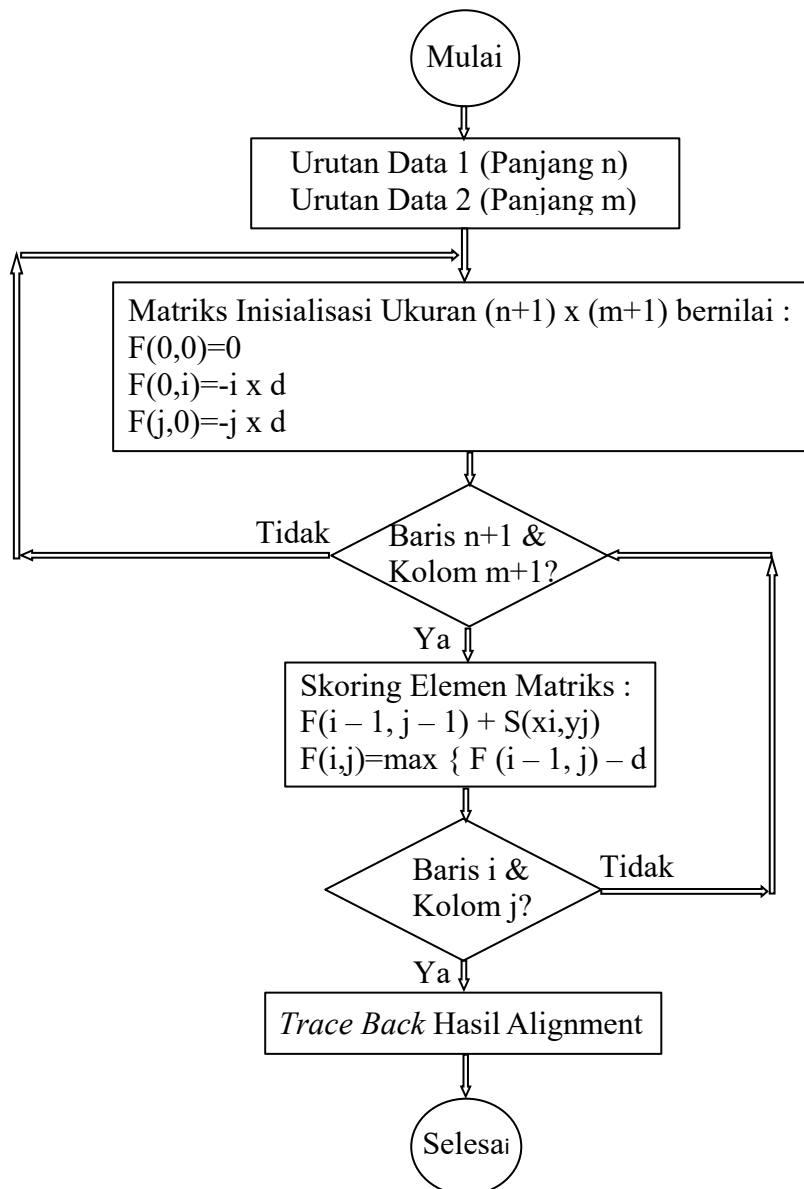
Overtravel dari rele : 0.1s

Faktor keamanan : 0.12-0.22s

Untuk rele berbasis *microprocessor Overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.4s.

3.4 Perancangan Algoritma *Multiple Sequence Alignment*

Salah satu algoritma yang efektif digunakan untuk *Global Sequence Alignment* atau penyelarasan data secara penuh adalah algoritma Needleman-Wunch yang menggunakan metode pemrograman dinamis. Sama seperti algoritma *dynamic* lainnya, algoritma Needleman-Wunsch membuat tabel (matrix) yang berisi nilai (skoring) kecocokan dari tiap elemen pada urutan data. Langkah pada Needleman-Wunsch untuk proses *alignment* antara urutan data X dengan urutan data Y sesuai diagram alir pada gambar 3.8 :



Gambar 3.8 Diagram Alir Algoritma Needleman_Wunch

Dari diagram alir pada gambar 3.8 dapat dibuat *Pseudocode* sebagai berikut :

Inisialisasi - membuat score matrix F berukuran $n \times m$ dimana n, m merupakan panjang dari masing-masing urutan. Untuk inisialisasi matrix F dapat dibuat sebagai berikut :

$F(0,0)=0$
 $F(0,i)= -i*d$
 $F(j,0)= -j*d$

d : Harga dari *gap pinalty*

Inisialisasi - untuk elemen yang lainnya diisi dengan cara sebagai berikut :

$F(i,j)=\max\{F(i-1, j-1) + S(x_i,y_j) \quad F(i-1, j) - d \quad F(i, j-1) - d$
 $S(x_i,y_j)=1 \text{ jika } x_i=y_j \text{ (match), jika tidak } S(x_i,y_j)=0.$

Mengisi nilai matriks F :

```

for i=0 to length(X)
    F(i,0) ← d*i
for j=0 to length(Y)
    F(0,j) ← d*j
for i=1 to length(X)
{
    for j = 1 to length(Y)
    {
        Match ← F(i-1,j-1) + S(Xi, Yj)
        Delete ← F(i-1, j) + d
        Insert ← F(i, j-1) + d
        F(i,j) ← max(Match, Insert, Delete)
    }
}

```

Traceback (Alignment) - setelah matriks F terbentuk maka dilakukan *back tracking move* dari bawah kanan (*maximum score*) matriks F untuk merekonstruksi urutan X dan Y. Dengan cara ini akan didapat bagaimana jalur yang ditempuh sehingga menghasilkan nilai yang maksimum di $F(n,m)$. *Back tracking move* sebagai berikut:

$\text{AlignmentX} \leftarrow ""$
 $\text{AlignmentY} \leftarrow ""$
 $i \leftarrow \text{length}(X)$

```

j ← length(Y)
while (i > 0 and j > 0)
{
  Score ← F(i,j)

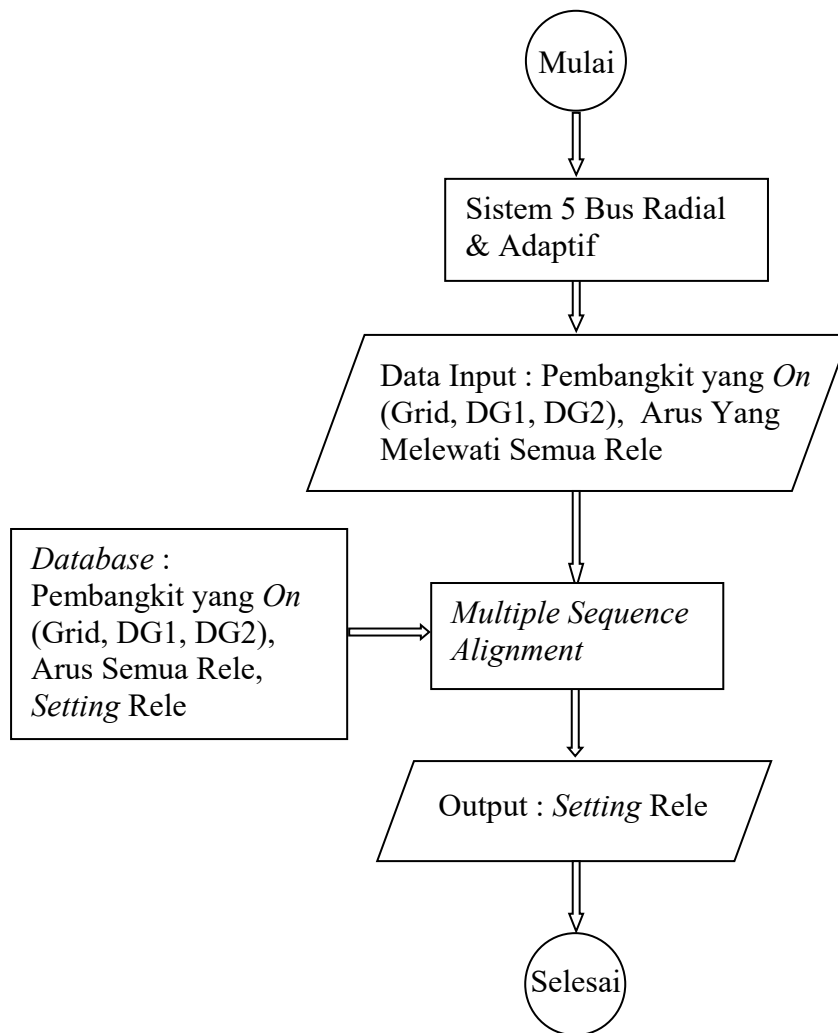
  ScoreDiag ← F(i - 1, j - 1)
  ScoreUp ← F(i, j - 1)
  ScoreLeft ← F(i - 1, j)
  if (Score == ScoreDiag + S(Xi, Yj))
  {
    AlignmentX ← Xi + AlignmentX
    AlignmentY ← Yj + AlignmentY
    i ← i - 1
    j ← j - 1
  }
  else if (Score == ScoreLeft + d)
  {
    AlignmentX ← Xi + AlignmentX
    AlignmentY ← "-" + AlignmentY
    i ← i - 1
  }
  otherwise (Score == ScoreUp + d)
  {
    AlignmentX ← "-" + AlignmentX
    AlignmentY ← Yj + AlignmentY
    j ← j - 1
  }
}
while (i > 0)
{
  AlignmentX ← Xi + AlignmentX
  AlignmentY ← "-" + AlignmentY
  i ← i - 1
}
while (j > 0)
{
  AlignmentX ← "-" + AlignmentX
  AlignmentY ← Yj + AlignmentY
  j ← j - 1
}

```

3.5 Aplikasi Algoritma *Multiple Sequence Alignment* Pada Sistem

Peran algoritma *Multiple Sequence Alignment* (MSA) pada sistem yang telah dirancang sesuai diagram alir pada gambar 3.9. *Database* berisi data seperti : pembangkit yang *On*, arus yang melewati semua rele untuk semua jenis gangguan pada tiap-tiap bus, dan *setting* rele, sehingga jika terjadi suatu jenis gangguan

pada bus n, semua rele akan menginformasikan data arus yang melewatinya. Urutan data arus rele beserta pembangkit yang *On* pada saat itu, akan dibandingkan dengan urutan data yang ada didalam *database* dengan algoritma *Multiple Sequence Alignment* untuk menemukan urutan data yang *similar* yang akan digunakan untuk menentukan *setting* rele.



Gambar 3.9 Diagram Alir Aplikasi Algoritma Needleman_Wunch Pada Sistem

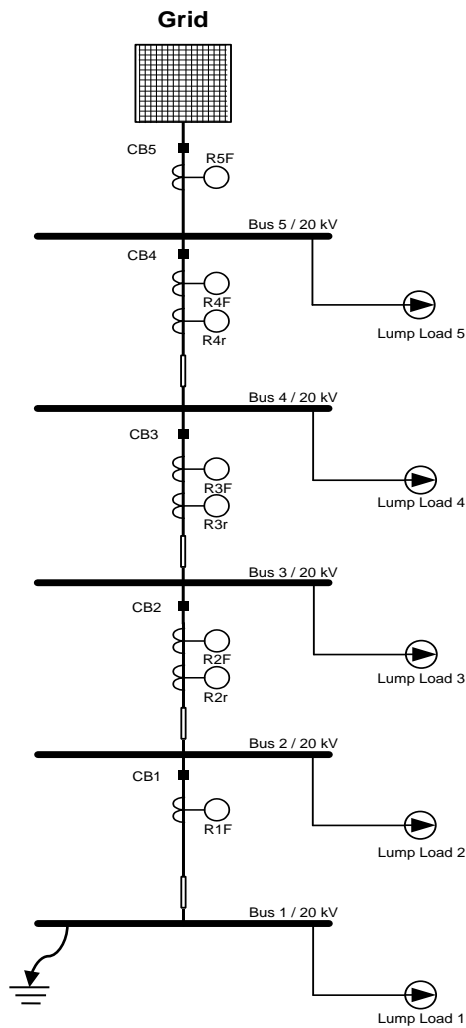
BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini berisi hasil-hasil simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6.0 untuk penerapan sistem tenaga listrik, gangguan hubung singkat dan koordinasi rele, kemudian menggunakan *software* MATLAB r2013a untuk pengujian algoritma *Multiple Sequence Alignment* (MSA).

4.1 Pengujian Algoritma *Multiple Sequence Alignment* (MSA) kasus 1

Pengujian pertama (kasus 1), dalam sistem tenaga listrik sesuai *single line diagram* pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hubung Singkat di Bus 1 untuk Kasus 1

Pada bus 1 untuk kasus 1, terjadi gangguan hubung singkat yang memberikan informasi :

- *Grid On* dengan arus output 305 A.
- DG1 *Off*.
- DG2 *Off*.
- Arus yang melewati rele RDG1 = 0.
- Arus yang melewati rele R1F = 4,89 kA.
- Arus yang melewati rele R2F = 4,89 kA.
- Arus yang melewati rele R2R = -4,89 kA.
- Arus yang melewati rele R3F = 4,89 kA.
- Arus yang melewati rele R3R = -4,89 kA.

- Arus yang melewati rele R4F = 4,89 kA.
- Arus yang melewati rele R4R = -4,89 kA.
- Arus yang melewati rele R5F = 4,89 kA.
- Arus yang melewati rele RDG2 = 0

Sehingga dapat disusun sebagai suatu urutan data input sebagai berikut :

305,5 0 0 0 4,89 4,89 -4,89 4,89 -4,89 4,89 -4,89 4,89 0

Urutan data input diatas akan di-*alignment* untuk mencari kemiripan / *similarity search* dengan semua urutan data yang ada didalam *database*, dimana urutan data yang paling mirip ditentukan dengan skor yang paling tinggi, yang digunakan untuk menentukan *setting* rele.

Alignment terhadap urutan *database1* :

305,5 0 0 0 4,89 4,89 -4,89 4,89 -4,89 4,89 -4,89 4,89 0

Alignment terhadap urutan *database2* :

305,5 0 0 0 4,75 4,75 -4,75 4,75 -4,75 4,75 -4,75 4,75 0

Sampai *database100* :

Alignment terhadap urutan *database100* :

237 0 72,4 1,03 0 0 0 0 0 0 0 7,19 0

Tabel 4.1 *Alignment* Data Input terhadap *Database 1*

				Data input													
				Grid	DG1	DG2	RDG1	R1F	R2F	R2R	R3F	R3R	R4F	R4R	R5F	RDG2	
				305.5	0	0	0	4.89	4.89	-4.89	4.89	-4.89	4.89	-4.89	4.89	0	
				0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13
Database 1	Grid	305.5	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	DG1	0	-2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	DG2	0	-3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	RDG1	0	-4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	R1F	4.89	-5	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	R2F	4.89	-6	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	R2R	-4.89	-7	1	1	1	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	R3F	4.89	-8	1	1	1	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5
	R3R	-4.89	-9	1	1	1	1	2	3	4	5	6	6	6	6	6	6
	R4F	4.89	-10	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	7	7	7	7
	R4R	-4.89	-11	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8	8
	R5F	4.89	-12	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	9
	RDG2	0	-13	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	9

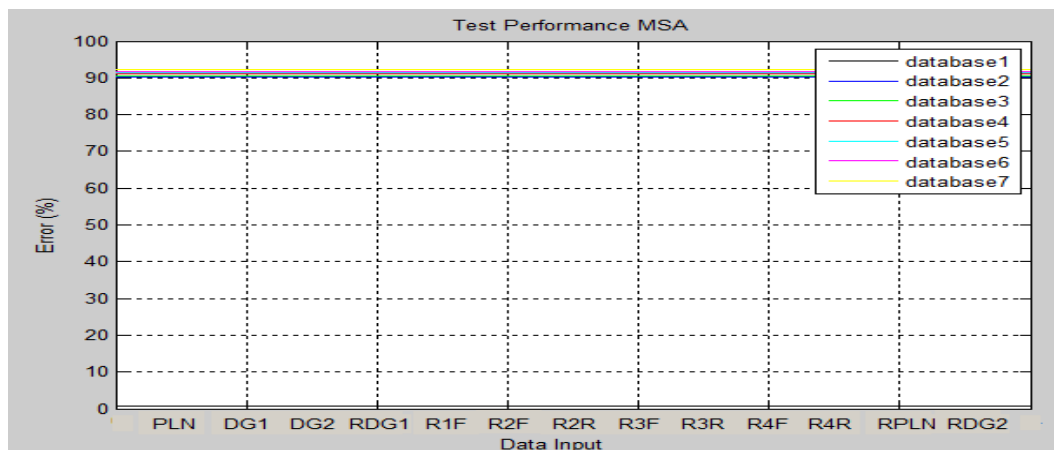
Sehingga hasil *alignment* :

305.5 0 0 4.89 4.89 4.89 4.89 4.89 4.89 4.89 4.89 (data input).

| | | | | | | | | | |

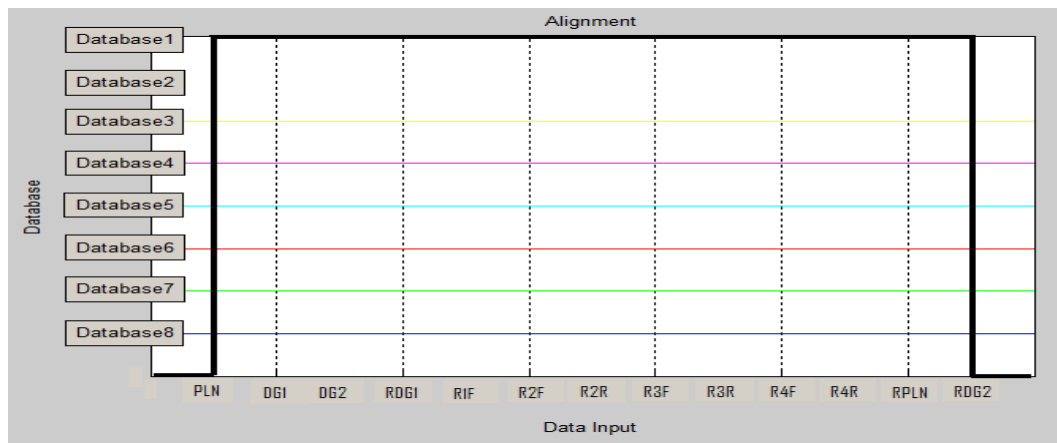
305.5 0 0 4.89 4.89 4.89 4.89 4.89 4.89 4.89 4.89 (*similar* dengan *database 1*).

Nilai *error* yang timbul tergantung dari *match* atau *mismatch* pada proses *alignment*. Pada kasus 1, *alignment* antara urutan data input terhadap urutan *database1* mempunyai harga *error* 0%, yang berarti kedua urutan data tersebut sama persis. Berikutnya, harga *error alignment* antara urutan data input terhadap urutan *database2*, *database3*, *database4*, *database5*, *database6*, *database7* adalah 88% sesuai gambar 4.2.



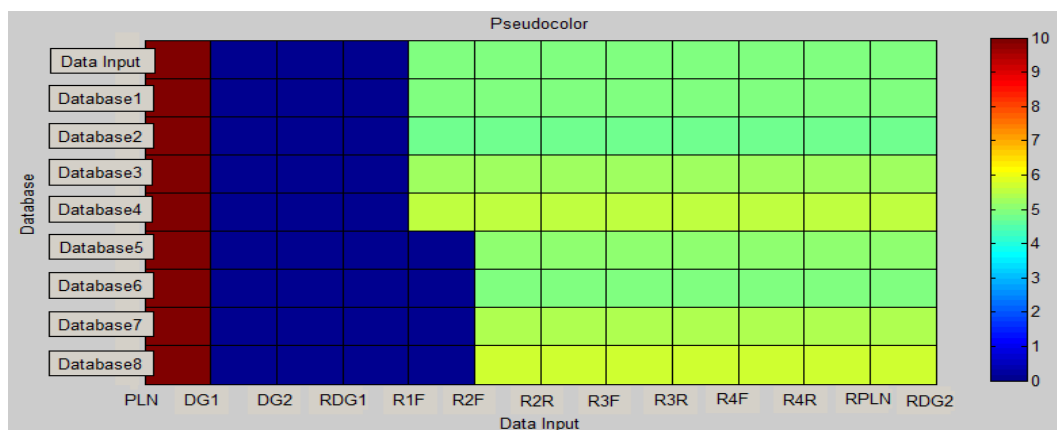
Gambar 4.2 *Test Performance MSA* untuk Kasus 1

Jika digambarkan dengan *line sequence* seperti pada gambar 4.3, maka *line sequence* data input akan mengarah ke *database1*.



Gambar 4.3 *Line Sequence* untuk Kasus 1

Pseudocolor adalah salah *tools* yang dapat digunakan untuk perbandingan dua urutan data. Hasil untuk kasus 1 seperti ditunjukkan dalam gambar 4.4



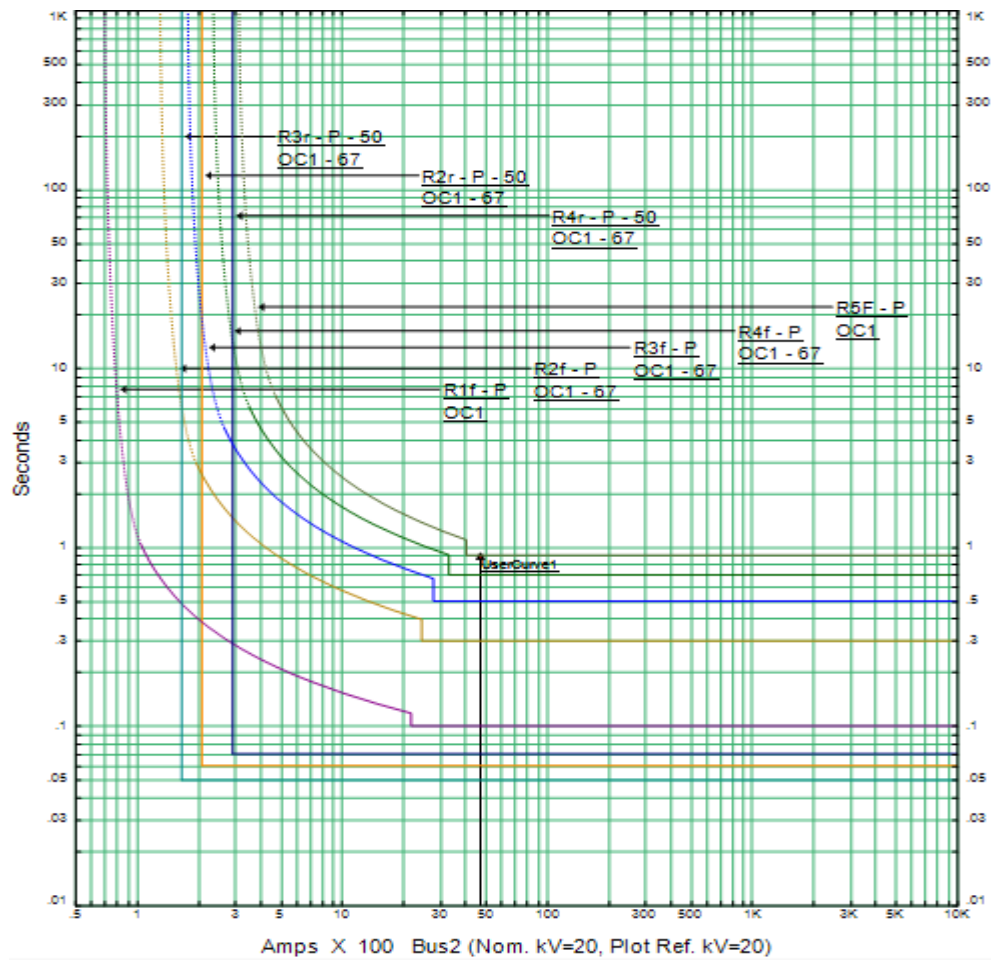
Gambar 4.4 *Pseudocolor* untuk Kasus 1

Sesuai hasil *alignment* untuk kasus 1, maka urutan data output adalah berupa *setting* rele sebagai berikut :

Rele *Forward* : RDG1=0, R1F=0,1s, R2F=0,3s, R3F=0,5s, R4F=0,7s, R5F=0,9, RDG2=0

Rele *Reverse* : R2R=0, R3R=0, R4R=0

Hasil *setting* rele berbasis algoritma *Multiple Sequence Alignment* (MSA) untuk kasus 1 seperti ditunjukkan dalam gambar 4.5 dan tabel 4.2.



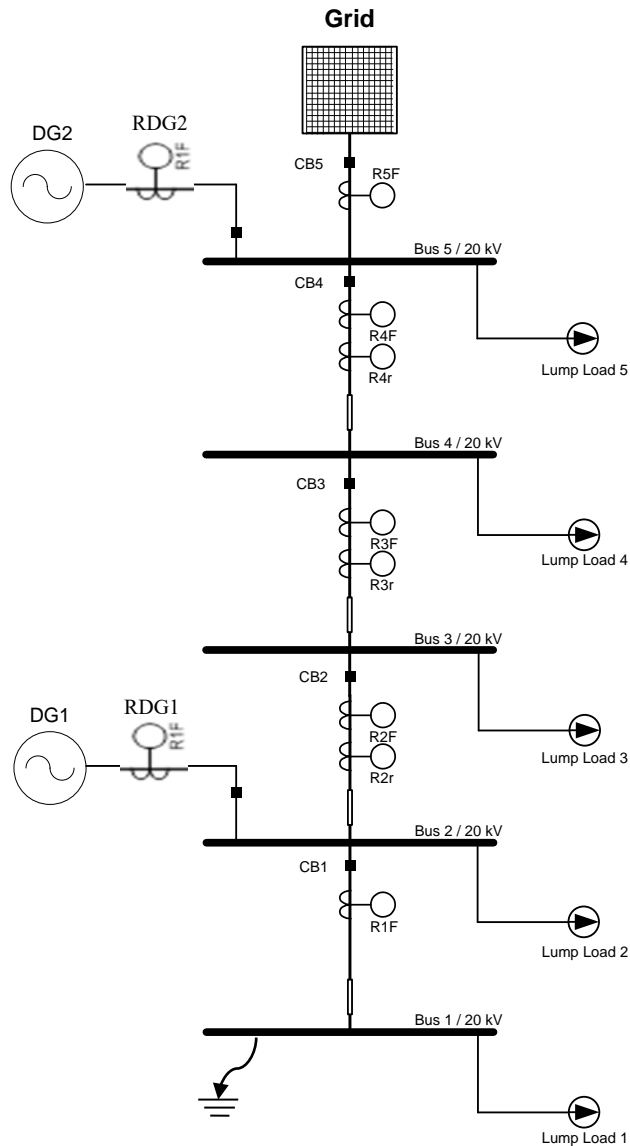
Gambar 4.5 Hasil Koordinasi Relé untuk Kasus 1

Tabel 4.2 Urutan Kerja Relé untuk Kasus 1

Time(ms)	ID	If(kA)	T1(ms)	T2(ms)	Condition
100	R1F	4.811	100		Phase-OC1-50
110	CB1		10.0		Tripped by R1F Phase-OC1-50
300	R2F	4.811	300		Phase-OC1-50-Forward
400	CB2		100		Tripped by R2F Phase-OC1-50-Forward
500	R3F	4.811	500		Phase-OC1-50-Forward
600	CB3		100		Tripped by R3F Phase-OC1-50-Forward
700	R4F	4.811	700		Phase-OC1-50-Forward
800	CB4		100		Tripped by R4F Phase-OC1-50-Forward
900	R5F	4.811	900		Phase-OC1-50
910	CB5		10.0		Tripped by R5F Phase-OC1-50

4.2 Pengujian Algoritma *Multiple Sequence Alignment* (MSA) kasus 2

Pengujian yang kedua (kasus 2), dalam sistem tenaga listrik sesuai *single line diagram* pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hubung Singkat di Bus 1 untuk Kasus 2

Pada bus 1 untuk kasus 2, terjadi gangguan hubung singkat yang memberikan informasi :

- *Grid On* dengan arus output 118,5 A.
- DG1 dengan arus output 118,5 A.

- DG2 dengan arus output 72,4 A.
- Arus yang melewati rele RDG1 = 1,84.
- Arus yang melewati rele R1F = 7,59 kA.
- Arus yang melewati rele R2F = 5,78 kA.
- Arus yang melewati rele R2R = - (tidak memberikan data).
- Arus yang melewati rele R3F = 5,78 kA.
- Arus yang melewati rele R3R = - (tidak memberikan data).
- Arus yang melewati rele R4F = 5,78 kA.
- Arus yang melewati rele R4R = -5,78 kA.
- Arus yang melewati rele R5F = 4,58 kA.
- Arus yang melewati rele RDG2 = 1,22 kA

Dalam kasus ini, rele R2R dan rele R3R tidak mengirimkan data arus yang melaluinya pada saat terjadi gangguan, atau dapat dikatakan rele-rele tersebut mengalami kerusakan.

Sehingga dapat disusun suatu urutan data input sebagai berikut :

118,5 118,5 72,4 1,84 7,59 5,78 - 5,78 - 5,78 -5,78 4,58 1,22

Tanda minus (-) diberikan untuk mengisi kekosongan / *junk* atau biasanya disebut dengan *gaps*, diberikan urutan data yang akan dibandingkan mempunyai panjang yang sama.

Urutan data input diatas akan di-*alignment* untuk mencari kemiripan / *similarity search* dengan semua urutan data yang ada didalam *database*, dimana urutan data yang paling mirip ditentukan dengan skor yang paling tinggi, yang digunakan untuk menentukan *setting* rele.

Susunan urutan data input sebagai berikut :

118,5 118,5 72,4 1,84 7,59 5,78 - 5,78 - 5,78 -5,78 4,58 1,22

Skoring urutan data input terhadap *database1* sampai dengan *database40*, kemudian terhadap *database41* sampai dengan *database100* sesuai tabel 4.20.

Matriks skoring *alignment* urutan data input terhadap urutan *database41* sesuai pada tabel 4.19, dibahas tersendiri untuk memperjelas aplikasi algoritma *Multiple Sequence Alignment* (MSA).

Alignment terhadap urutan database1 :

305,5 0 0 0 4,89 4,89 -4,89 4,89 -4,89 4,89 -4,89 4,89 0

Alignment terhadap urutan database41 :

118,5 118,5 72,4 1,84 7,59 5,78 -5,78 5,78 -5,78 5,78 -5,78 4,58 1,22

Alignment terhadap urutan database100 :

237 0 72,4 1,03 0 0 0 0 0 0 0 7,19 0

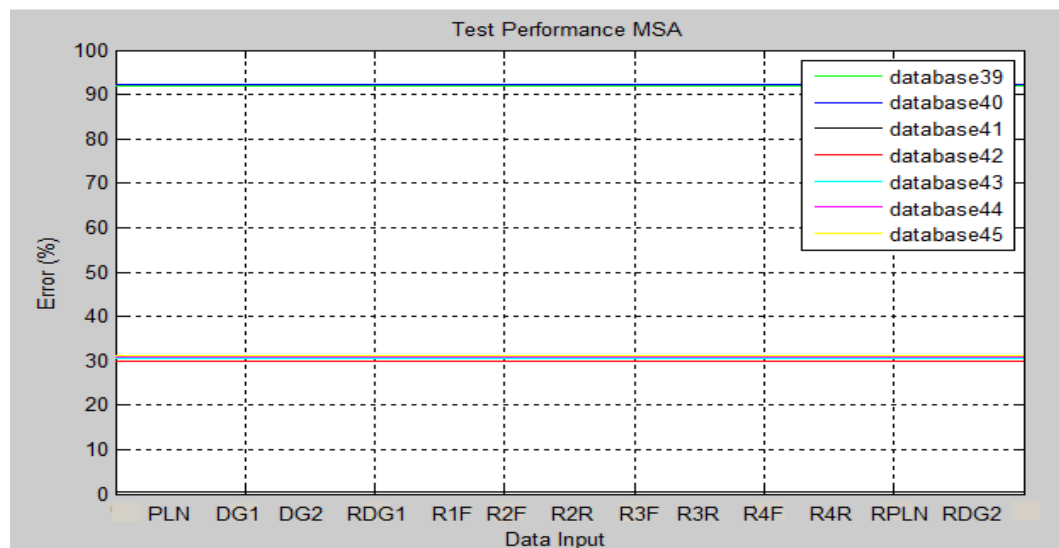
Tabel 4.3 *Alignment* Data Input terhadap *Database41*

				Data input												
				Grid	DG1	DG2	RDG1	R1F	R2F	R2R	R3F	R3R	R4F	R4R	R5F	RDG2
				118.5	118.5	72.4	1.84	7.59	5.78	-	5.78	-	5.78	-5.78	4.58	1.22
			0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13
Database 41	Grid	118.5	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	DG1	118.5	-2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	DG2	72.4	-3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	RDG1	1.84	-4	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	R1F	7.59	-5	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	R2F	5.78	-6	1	2	3	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6
	R2R	-5.78	-7	1	2	3	4	5	6	6	7	7	7	7	7	7
	R3F	5.78	-8	1	2	3	4	5	6	6	7	7	8	8	8	8
	R3R	-5.78	-9	1	2	3	4	5	6	6	7	7	8	9	9	9
	R4F	5.78	-10	1	2	3	4	5	6	6	7	7	8	9	9	9
	R4R	-5.78	-11	1	2	3	4	5	6	6	7	7	8	9	9	9
	R5F	4.58	-12	1	2	3	4	5	6	6	7	7	8	9	10	10
RDG2	1.22	-13	1	2	3	4	5	6	6	7	7	7	8	10	11	

Sehingga hasil *alignment* :

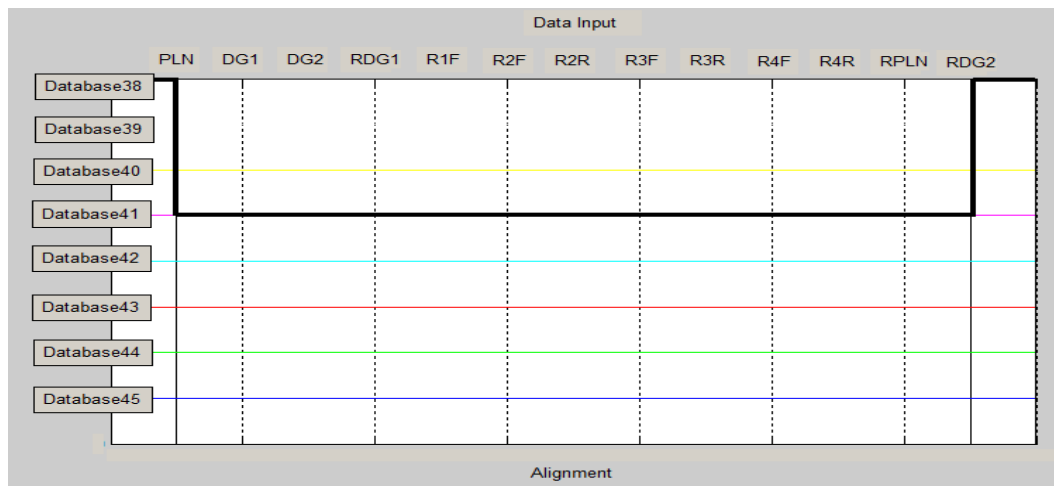
118,5 118,5 72,4 1,84 7,59 5,78 - 5,78 - 5,78 -5,78 4,58 1,22 (data input)
 | | | | | | | | | | | |
 118,5 118,5 72,4 1,84 7,59 5,78 -5,78 5,78 -5,78 5,78 -5,78 4,58 1,22 (similar
 dengan *database 41*).

Untuk kasus 2, *alignment* antara urutan data input terhadap urutan *database41* mempunyai harga *error* 14,38. Berikutnya, harga *error alignment* antara urutan data input terhadap urutan *database40*, *database42*, *database43*, *database44*, *database45* dan *database45* berturut-turut adalah 100%, 100%, 23.08%, 23.08%, 23.08%, 23.08% sesuai gambar 4.7.



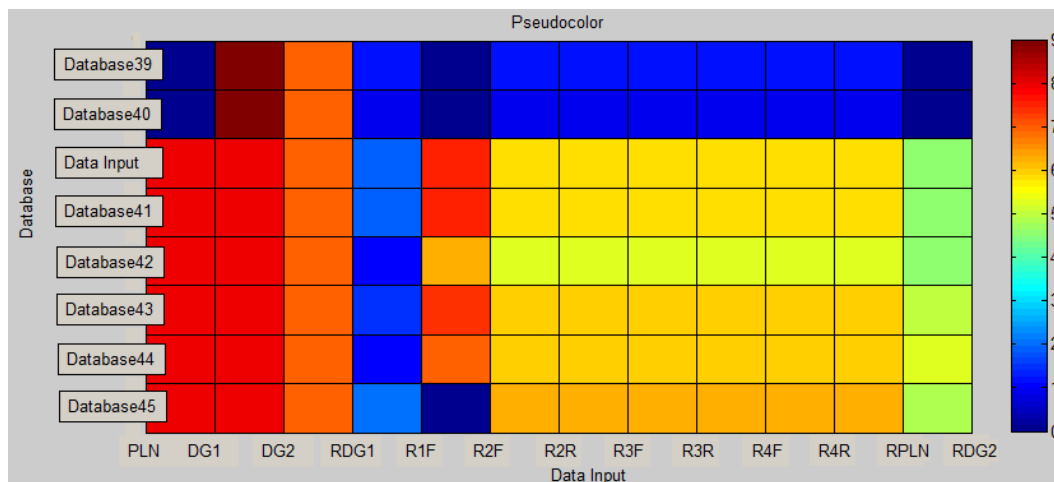
Gambar 4.7 *Test Performance MSA* untuk Kasus 2

Line sequence untuk kasus 2 seperti pada gambar 4.8, dimana *line sequence* data input akan mengarah ke *database41*.



Gambar 4.8 *Line Sequence* untuk Kasus 2

Hasil *pseudocolor* untuk kasus 2 seperti ditunjukkan dalam gambar 4.9



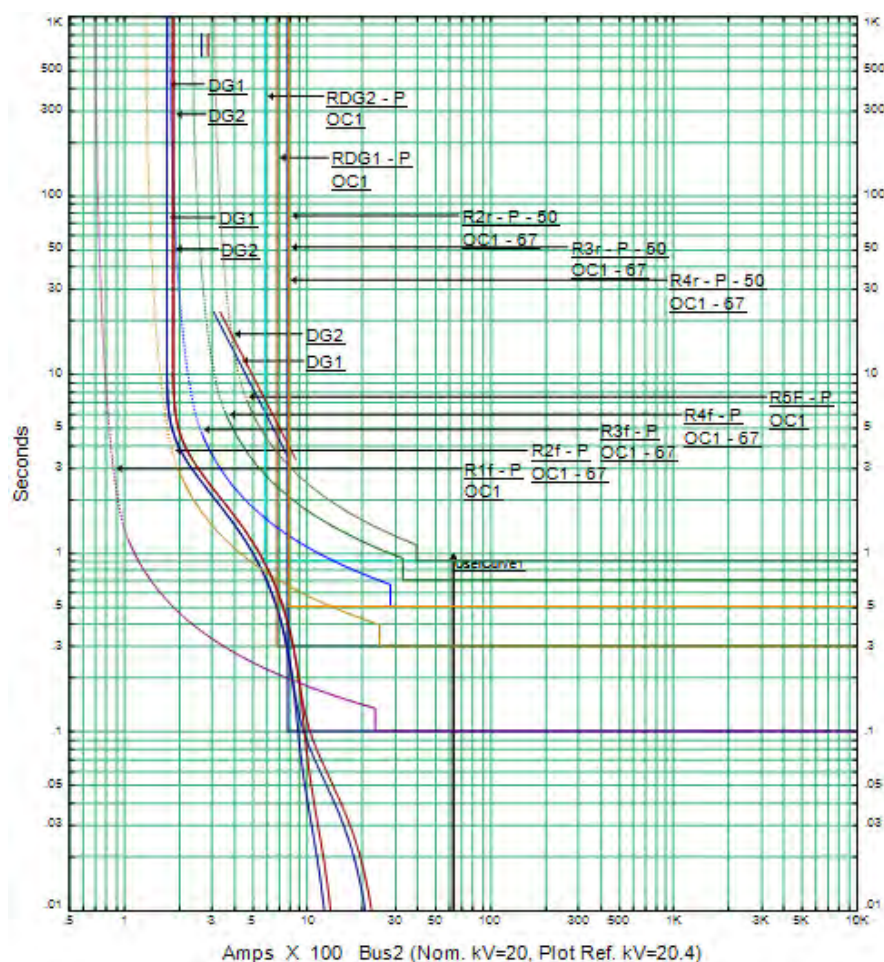
Gambar 4.9 *Pseudocolor* untuk Kasus 2

Sesuai hasil *alignment* untuk kasus 2, maka urutan data output adalah berupa *setting* rele sebagai berikut :

Rele *Forward* : RDG1=0,2, R1F=0,1s, R2F=0,3s, R3F=0,5s, R4F=0,7s, R5F=0,9, RDG2=0,8

Rele *Reverse* : R2R=0, R3R=0, R4R=0

Hasil *setting* rele berbasis algoritma *Multiple Sequence Alignment* (MSA) untuk kasus 2 seperti ditunjukkan dalam gambar 4.10 dan tabel 4.4.



Gambar 4.10 Hasil koordinasi rele untuk kasus 2

Tabel 4.4 Urutan Kerja Rele untuk Kasus 2

Time(ms)	ID	If(kA)	T1(ms)	T2(ms)	Condition
100	R1f	6.308	100		Phase-OC1-50
110	CB1		10.0		Tripped by R1f Phase-OC1-50
300	R2f	5.339	300		Phase-OC1-50-Forward
300	RDG1	1.035	300		Phase-OC1-50
310	CB6		10		Tripped by RDG1 Phase-OC1-50
400	CB2		100		Tripped by R2f Phase-OC1-50-Forward
500	R3f	5.339	500		Phase-OC1-50-Forward

600	CB3		100		Tripped by R3f Phase-OC1-50-Forward
700	R4f	5.339	700		Phase-OC1-50-Forward
800	CB4		100		Tripped by R4f Phase-OC1-50-Forward
900	R5f	4.548	900		Phase-OC1-50
900	RDG2	0.838	900		Phase-OC1-50
910	CB5		10.0		Tripped by R5F Phase-OC1-50
910	CB7		10.0		Tripped by RDG2 Phase-OC1-50

LAMPIRAN - MSA PROGRAMMING

```
%=====DETEKSIRELE=====
clc
format short
%Database
A=xlsread('tesis_final.xlsx');
%save A.dat A -ascii -tabs

%Input Data
Pembangkit1=input('Daya Output PLN=');
Pembangkit2=input('Daya Output DG_1=');
Pembangkit3=input('Daya Output DG_2=');
RDG1=input('Arus DG1=');
R1F=input('Arus R1F=');
R2F=input('Arus R2F=');
R2R=input('Arus R2R=');
R3F=input('Arus R3F=');
R3R=input('Arus R3R=');
R4F=input('Arus R4F=');
R4R=input('Arus R4R=');
RPLN=input('Arus RPLN=');
RDG2=input('Arus DG2=');
%Pembentukan Matriks Alignment
B=[Pembangkit1 Pembangkit2 Pembangkit3 RDG1 R1F R2F R2R R3F R3R
R4F R4R RPLN RDG2];

%Pembentukan Matriks Skoring
d=0;          %Nilai Gaps_____
C(1,1)=0;
m=13;
%Inisialisasi Penalty Gap
for i=1:m
    C(1,i+1)=C(1,i)-1;
    C(i+1,1)=C(i,1)-1;
end

%Pengisian Elemen Matriks
%Baris Ke-
2=====
for x=1:100
for j=1:m
if B(1,j)==0
    nilai(j)=-1;
else if B(1,j)==A(x,1)
    nilai(j)=1;
else if B(1,j)~=A(x,1)
    nilai(j)=0;
end
end
end
C(2,j+1)=max([C(1,j)+nilai(j) C(1,j+1)-d C(2,j)-d]);
end
%Baris Ke-
3=====
for k=1:m
if B(1,k)==0
```

```

        nilai(k)=-1;
    else if B(1,k)==A(x,2)
        nilai(k)=1;
    else if B(1,k)~=A(x,2)
        nilai(k)=0;
    end
end
end
C(3,k+1)=max([C(2,k)+nilai(k) C(2,k+1)-d C(3,k)-d]);
end
%Baris Ke-
4=====
for n=1:m
    if B(1,n)==0
        nilai(n)=-1;
    else if B(1,n)==A(x,3)
        nilai(n)=1;
    else if B(1,n)~=A(x,3)
        nilai(n)=0;
    end
end
end
C(4,n+1)=max([C(3,n)+nilai(n) C(3,n+1)-d C(4,n)-d]);
end
%Baris Ke-
5=====
for p=1:m
    if B(1,p)==0
        nilai(p)=-1;
    else if B(1,p)==A(x,4)
        nilai(p)=1;
    else if B(1,p)~=A(x,4)
        nilai(p)=0;
    end
end
end
C(5,p+1)=max([C(4,p)+nilai(p) C(4,p+1)-d C(5,p)-d]);
end
%Baris Ke-
6=====
for q=1:m
    if B(1,q)==0
        nilai(q)=-1;
    else if B(1,q)==A(x,5)
        nilai(q)=1;
    else if B(1,q)~=A(x,5)
        nilai(q)=0;
    end
end
end
C(6,q+1)=max([C(5,q)+nilai(q) C(5,q+1)-d C(6,q)-d]);
end
%Baris Ke-
7=====
for r=1:m
    if B(1,r)==0
        nilai(r)=-1;
    else if B(1,r)==A(x,6)

```

```

        nilai(r)=1;
    else if B(1,r)~=A(x,6)
        nilai(r)=0;
    end
end
end
C(7,r+1)=max([C(6,r)+nilai(r) C(6,r+1)-d C(7,r)-d]);
end
%Baris Ke-
8=====
for s=1:m
if B(1,s)==0
    nilai(s)=-1;
else if B(1,s)==A(x,7)
    nilai(s)=1;
else if B(1,s)~=A(x,7)
    nilai(s)=0;
end
end
end
C(8,s+1)=max([C(7,s)+nilai(s) C(7,s+1)-d C(8,s)-d]);
end
%Baris Ke-
9=====
for t=1:m
if B(1,t)==0
    nilai(t)=-1;
else if B(1,t)==A(x,8)
    nilai(t)=1;
else if B(1,t)~=A(x,8)
    nilai(t)=0;
end
end
end
C(9,t+1)=max([C(8,t)+nilai(t) C(8,t+1)-d C(9,t)-d]);
end
%Baris Ke-
10=====
for u=1:m
if B(1,u)==0
    nilai(u)=-1;
else if B(1,u)==A(x,9)
    nilai(u)=1;
else if B(1,u)~=A(x,9)
    nilai(u)=0;
end
end
end
C(10,u+1)=max([C(9,u)+nilai(u) C(9,u+1)-d C(10,u)-d]);
end
%Baris Ke-
11=====
for v=1:m
if B(1,v)==0
    nilai(v)=-1;
else if B(1,v)==A(x,10)
    nilai(v)=1;
else if B(1,v)~=A(x,10)

```

```

        nilai(v)=0;
    end
    end
    end
    C(11,v+1)=max([C(10,v)+nilai(v) C(10,v+1)-d C(11,v)-d]);
end

%Baris Ke-
12=====
for w=1:m
if B(1,w)==0
    nilai(w)=-1;
else if B(1,w)==A(x,11)
    nilai(w)=1;
else if B(1,w)~=A(x,11)
    nilai(w)=0;
end
end
end
C(12,w+1)=max([C(11,w)+nilai(w) C(11,w+1)-d C(12,w)-d]);
end

%Baris Ke-
13=====
for y=1:m
if B(1,y)==0
    nilai(y)=-1;
else if B(1,y)==A(x,12)
    nilai(y)=1;
else if B(1,y)~=A(x,12)
    nilai(y)=0;
end
end
end
C(13,y+1)=max([C(12,y)+nilai(y) C(12,y+1)-d C(13,y)-d]);
end

%Baris Ke-
14=====
for z=1:m
if B(1,z)==0
    nilai(z)=-1;
else if B(1,z)==A(x,13)
    nilai(y)=1;
else if B(1,z)~=A(x,13)
    nilai(z)=0;
end
end
end
C(14,z+1)=max([C(13,z)+nilai(z) C(13,z+1)-d C(14,z)-d]);
end

Skor(x)=C(14,14)
end
pcolor(C)
HMObj=HeatMap(B)

```

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi pada sistem distribusi radial 5 bus 20 kV didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan topologi sistem menyebabkan besar dan arah arus berubah pada saat terjadi gangguan.
2. *Setting* rele tidak bersifat *fixed*, tetapi adaptif sesuai dengan perubahan topologi sistem.
3. *Multiple Sequence Alignment* (MSA) menggunakan algoritma *Needleman-wunch* adalah termasuk algoritma yang menggunakan metode pemrograman dinamis, dapat menghasilkan nilai *error* 0% jika urutan data yang disejajarkan (*alignment*) sama persis.

5.2 Penelitian Berikutnya

1. Koordinasi rele yang tersimpan didalam *database* menggunakan algoritma komputasi cerdas sehingga hasilnya optimum.
2. Algoritma *Multiple Sequence Alignment* (MSA) diaplikasikan pada sistem yang mempunyai konfigurasi *mesh/loop*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Santoso, T. A. Short, “*Identification of Fuse and Recloser Operations in Radial Distribution System*”, IEEE Trans. Power Delivery, 2007, 22, (4), pp. 2370-2377.
- [2] Park, W.J., Sung, B.C., Song, K.B., Park, J.W., “*Parameter Optimization of SFCL With Wind- Turbine Generation System Based on Its Protective Coordination*”, IEEE Trans. Applied Superconductivity, 2011, 21, (3), pp. 2153-2156.
- [3] Chaitusaney, S., Yokoyama, A., “*Prevention of Reliability Degradation from Recloser-Fuse Miscoordination Due to Distributed Generation*”, IEEE Trans. Power systems, 2008, 23, (4), pp. 2545-2554.
- [4] Lee, H.J., Son, G.T., Park, J.W., “*Study on Wind- Turbine Generator System Sizing Considering Voltage Regulation and Overcurrent Relay Coordination*”, IEEE Trans. Power Systems, 2011, 26, (3), pp. 1283-1293.
- [5] “*IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays*”, IEEE standard C37.112-1996
- [6] Blackburn, J.L., “*Protective Relaying: Principles and Applications, 2nd ed*”, Marcel Dekker, Inc., 2004.
- [7] “*IEEE Guide for Protective Relay Applications to Distribution Lines*”, IEEE standard C37. 230-2007.
- [8] Abdelaziz, A.Y., Talaat, H.E.A., Nosseir, A.I., “*An Adaptive Scheme for Optimal Overcurrent Relay Coordination in Interconnected Power Systems*”, *Seventh International Middle-East Power Systems Conference-MEPCON*, Maret 2000.
- [9] Calderano, V., Galdi, V., Piccolo, A., Siano, P., “*Adaptive Relays for Overhead Line Protection*”, Electr. Power Syst. Res., 2007, 77, pp. 1552–1559.
- [10] Sung, B.C., Lee, S.Y., Park, J.W., Meliopoulos, P.S., “*Adaptive Protection Algorithm for Overcurrent Relay in Distribution System with DG*”, J. Electr. Eng Technol., 2013, 8, (5), pp. 1002–1011.

- [11] Chen, C.R., Lee, C.H., “*Adaptive Overcurrent Relay Coordination for off-peak Loading in Interconnected Power System*”, Electrical Power and Energy Systems., 2014, 63, pp. 140–144.
- [12] Isaev A., “*Introduction to Mathematical Methods in Bioinformatics*”, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co.k, 2014
- [13] Mathkour, H., Ahmad, M., “*A Comprehensive Survey on Genome Sequence Analysis*”, IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology, 2010, pp. 14-18.
- [14] Gill, N., Singh, S., “*Multiple Sequence Alignment using Boolean Algebra and Fuzzy Logic: A Comparative Study*”, Int. J. Comp. Tech. Appl., 2011, 2, (5), pp.1145-1152.
- [15] Naveed, T., Siddiqui, I.S., Ahmed, S., “*Parallel Needleman-Wunsch Algorithm for Grid*”, Proceedings of the PAK-US International Symposium on High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies -HONET, Desember 2005.
- [16] Mabrouk, M.S., Hamdy, M., Mamdouh, M., Aboelfotoh, M., Kadah, Y.M., “*BIOINFTool : Bioinformatics and sequence data analysis in molecular biology using Matlab*”, Cairo International Biomedical Engineering Conference, 2006, pp. 1-9.
- [17] S. Needleman., Wunsch., “*A general method applicable to the search for similarities in the amino acid sequences of two proteins*”, Journal of Molecular Biology 48, 1970, pp.443-453.
- [18] Shehab, S.A., Keshk, A., Mahgoub, H., “*Fast Dynamic Algorithm for Sequence Alignment based on Bioinformatics*”, International Journal of Computer Applications, 2012, 37, (7), pp.0975 – 8887.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Denny Irawan. Lahir di Surabaya pada tanggal 11 Agustus 1975. Penulis mengawali pendidikannya di SDN Manukan Kulon IV Surabaya pada tahun 1982-1988. Kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 26 Surabaya pada tahun 1988-1991. Setelah lulus dari SMA Negeri 11 Surabaya pada tahun 1994, penulis melanjutkan pendidikan Diploma 3 di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), Jurusan Teknik Elektronika dan lulus tahun 1998. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan Lintas Jalur S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga pada tahun 2000 dan lulus pada tahun 2003. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikan Magister di Institut yang sama. Penulis berpengalaman di dunia industri selama belasan tahun, sebelum akhirnya memutuskan untuk berkontribusi dalam pengembangan ilmu dan pendidikan, mengabdikan diri di Universitas Muhammadiyah Gresik. Penulis dapat dihubungi di alamat *email* : den2mas@gmail.com atau di nomor seluler: 081335635635.